N° 32

RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

DES

TISSUS ET DU CORPS HUMAIN

A L'ÉTAT NORMAL ET PATHOLOGIQUE

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue à la Faculté de Médecine de Montpellier

Le 19 Mars 1892

PAR

Edmond CASTEX

Né à Tlemcen, le 5 Août 1868

LICENCIÉ ÈS SCIENCES PHYSIQUES, PRÉPARATEUR DE PHYSIQUE

LAURÉAT DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

MONTPELLIER

TYPOGRAPHIE ET LITHOGRAPHIE CHARLES BOEHM

ÉDITEUR DU NOUVEAU MONTPELLIER MÉDICAL

1892

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. MAIRET..... DOYEN
CARRIEU..... ASSESSEUR

PROFESSEURS :

Médecine légale et Toxicologie.....	MM. JAUMES
Clinique chirurgicale.....	DUBRUEIL (✱).
Chimie médicale et Pharmacie.....	ENGEL.
id. VILLE (Chargé de Cours).	
Hygiène.....	BERTIN-SANS.
Clinique médicale.....	GRASSET.
Physiologie.....	LANNEGRACE.
Clinique chirurgicale.....	TEDENAT.
Clinique obstétricale et Gynécologie.....	GRYNFELTT.
Anatomie pathologique et Histologie.....	KIENER (✱).
Thérapeutique et Matière médicale.....	HAMELIN (✱).
Anatomie.....	PAULET (O. ✱ ✠).
Clinique médicale.....	CARRIEU.
Clinique des maladies mentales et nerveuses.....	MAIRET.
Physique médicale.....	IMBERT.
Botanique et Histoire naturelle médicale.....	GRANEL.
Opérations et Appareils.....	FORGUE.
Clinique ophtalmologique.....	TRUC.
Pathologie interne.....(Ch. de c.)	SARDA.

Doyen honoraire : M. J. BENOIT (O. ✱ ✠)
Professeur honoraire : M. DUPRE (O. ✱ C ✠).

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Histologie.....	MM. BLAISE, agrégé.
Clinique annexe des maladies des enfants.....	BAUMEL, agrégé.
Accouchements.....	GERBAUD, agrégé.
Clinique ann. des mal. syphil. et cutanées.....	BROUSSE, agrégé.
Clinique annexe des maladies des vieillards.....	REGIMBEAU, agrégé.
Pathologie externe.....	ESTOR, agrégé.

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

MM. GAYRAUD.	MM. BAUMEL.	MM. SARDA.
DE GIRARD.	VILLE.	ESTOR.
SERRE.	GERBAUD.	HEDON.
REGIMBEAU.	GILIS.	LECERCLE
BLAISE.	BROUSSE.	

MM. H. GOT, *Secrétaire.*
F.-J. BLAISE, *Secrétaire honoraire.*

EXAMINATEURS DE LA THÈSE :

MM. IMBERT, *président.*
GRASSET, professeur.
LECERCLE, agrégé.
REGIMBEAU, agrégé.

La Faculté de Médecine de Montpellier déclare que les opinions émises dans les Dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leur auteur ; qu'elle n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

A LA MÉMOIRE VÉNÉRÉE DE MON PÈRE

L. CASTEX

Médecin principal de 1re classe
Directeur du service de santé du 16e Corps d'armée
Officier de la Légion d'Honneur

A MA MÈRE

A MES SŒURS

A TOUS MES PARENTS

E. CASTEX.

A Monsieur le Professeur ENGEL

Membre Correspondant de l'Académie de Médecine

Hommage respectueux.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

Monsieur le Professeur IMBERT

A TOUS MES MAITRES

A TOUS MES AMIS

E. CASTEX.

INTRODUCTION

En consultant les traités de physique médicale, d'électrothérapie et de physiologie, nous avons été toujours très étonné de ne trouver généralement que quelques lignes, si toutefois on en parlait, sur la résistance électrique des tissus et du corps humain. Nous avons pensé que cela ne pouvait tenir qu'à deux choses : ou que bien peu de recherches avaient été entreprises dans cette direction, ou que les travaux publiés en France et surtout à l'étranger étaient inconnus. Il nous a semblé intéressant, dans les deux cas, de choisir cette question comme sujet de thèse inaugurale, au moment où la science électrique prend une telle importance. Nous ne demandons pas seulement à l'énergie électrique de transmettre la pensée ou de nous éclairer, mais encore de nous guérir ; on élève maintenant de vraies usines avec dynamos, tableau de distribution et conducteurs, pour porter à une foule de malades le fluide bienfaisant. Il n'est certainement pas nécessaire qu'un médecin soit physicien pour employer l'électricité comme agent thérapeutique, mais au moins faut-il qu'il connaisse les principes de l'électrothérapie, et les variations que subit la résistance sous l'influence du courant électrique fait partie de ces premières notions. Dans ces dernières années, le Dr Vigouroux, le savant directeur du service d'électrothérapie à la Salpêtrière, a montré le parti que l'on pouvait tirer de la mesure de la résistance pour l'électrodiagnostic : il a ainsi ajouté un nouveau chapitre à l'électrothérapie. L'emploi de plus en plus répandu pour le transport de l'énergie électrique, de courants à haute tension, a provoqué de fréquents accidents ; il a fallu édicter des règles de précautions : toutes choses qui intéressent le médecin et le physiologiste autant que l'industriel et le législateur. La justice même veut faire jouer à l'électricité le rôle de bourreau. On voit donc combien la mesure de la résistance du corps

humain, les variations qu'elle subit, sont intéressantes, à bien des points de vue.

Mais le corps humain est un conducteur hétérogène au plus haut degré : Quels sont les rapports entre la conductibilité des tissus et la conductibilité totale ? Comment un courant, d'une intensité donnée, se partage-t-il dans les divers organes ? Problèmes qui ne peuvent se résoudre que si l'on connaît les résistances spécifiques des tissus. Ces questions exigent des expériences très délicates; ainsi, dans ces dernières années, la société royale des Sciences de Bruxelles a proposé, comme sujet de concours pour un prix, la recherche de la conductibilité électrique des tissus et des liquides de l'organisme : le prix n'a pas été décerné, faute de candidat.

Forcé par des circonstances d'ordre supérieur de présenter cette thèse, nous regrettons de n'avoir pas le temps de choisir quelque point spécial parmi tous ceux qui sont à étudier. Aussi notre travail est modeste : nous avons rassemblé et exposé les faits principaux, les théories qui ont trait à la résistance électrique des tissus et du corps humain. Puissions-nous avoir fait une œuvre de quelque utilité!

Que notre président de thèse, Monsieur le professeur Imbert, nous permette de lui exprimer ici toute notre gratitude pour les nombreux et excellents conseils qu'il a eu la bonté de nous donner en toutes circonstances.

Nous prions nos Maîtres de la Faculté de Médecine d'agréer toute notre reconnaissance pour la bienveillance que nous avons toujours rencontrée auprès d'eux, depuis le début de nos études médicales.

RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

DES

TISSUS ET DU CORPS HUMAIN

A L'ÉTAT NORMAL ET PATHOLOGIQUE

PREMIÈRE PARTIE

Résistance spécifique. — Mesure des Résistances

Résistance. — Si l'on maintient aux deux extrémités d'un conducteur homogène de longueur L centim., de section S centim. carrés une différence de potentiel E, ce conducteur est traversé par un courant constant, dont l'intensité I est donnée par la loi de Ohm :

$$E = RI$$

La quantité R est appelée résistance du conducteur.

Unité de résistance. — On exprime actuellement les quantités E, I et R en unités pratiques du système électromagnétique CGS, qui sont : le volt, pour la force électromotrice ou la différence de potentiel ; l'ampère, pour l'intensité ; l'ohm, pour la résistance. L'ohm est la résistance à 0° d'une colonne de mercure pur, d'une longueur de 106 centim. et d'une section de 1 millim. carré. Avant l'adoption générale de l'ohm, on se servait souvent de l'unité Siemens, résistance d'une colonne de

mercure pur d'une longueur de 1 mèt. et d'une section de 1 millim. carré.

Résistance spécifique.— La résistance R du conducteur, que nous avons considéré, nous est donnée en ohms par la formule :

$$R = K\frac{L}{S}$$

K est un nombre constant qui dépend de la matière du conducteur et de son état moléculaire. On l'appelle résistance spécifique : c'est la résistance qu'offre au passage d'un courant électrique parallèle à l'une de ses arêtes, un cube du même corps conducteur, qui aurait 1 centim. dans ses trois dimensions. La résistance spécifique est donc exprimée en ohm-centimètre ; ou en microhm-centimètre, si le corps est très bon conducteur.

Tout corps homogène, c'est-à-dire dont la substance est identique en tous ses points, comme composition chimique et état physique, possède une résistance spécifique, qui peut du reste varier sous l'influence de divers agents. Or, comme l'histologie montre que les tissus organiques sains ont une texture définie, un état physique et chimique relativement stable, on est conduit à leur donner une résistance spécifique. Mais cette résistance est sujette à de grandes variations, suivant l'état d'hydratation du tissu, la température, le sens suivant lequel le courant passe, etc. Aussi est-il nécessaire de tenir compte de toutes les conditions dans lesquelles se sont faites les mesures ; et c'est en les énonçant que l'on peut exprimer la résistance spécifique d'après la seule méthode scientifique indiquée : les résultats de plusieurs observateurs seront facilement comparables entre eux.

Il ne peut, au contraire, exister une résistance spécifique pour un corps aussi compliqué et peu homogène que le corps humain. Nous sommes donc obligé d'en mesurer la résistance totale.

Mesure d'une résistance.— Que l'on veuille mesurer une résistance spécifique ou une résistance totale, les procédés sont les

mêmes ; car, dans le premier cas, on mesure la résistance totale du conducteur, et l'on calcule la résistance spécifique, en tenant compte de sa longueur et de sa section. Nous allons étudier rapidement les diverses méthodes de mesure.

Méthode de substitution. — On introduit le corps dans un circuit comprenant un galvanomètre, qui doit être très sensible ; et une source d'électricité, dont la *f e. m.*[1] et la résistance intérieure doivent être *absolument constantes*. On note la déviation galvanométrique. On remplace ensuite le corps par un autre dont la résistance, connue et variable à volonté, est modifiée jusqu'à ce que le galvanomètre indique la même déviation. La résistance mesurée est égale à la résistance cherchée.

Méthode de la loi de Ohm. — Nous avons vu au commencement la relation qui existe entre la résistance d'un conducteur, la différence de potentiel à ses deux extrémités, et l'intensité du courant qui le traverse. Si l'on connaît les deux dernières de ces trois quantités, il est facile de calculer la première.

La mesure de la f. e. m. se fait à l'aide des instruments appelés électromètres, et voltmètres s'ils sont gradués en volts. Les voltmètres ne sont en général que des galvanomètres : on démontre que l'instrument, monté en dérivation aux deux points d'un circuit, mesure la différence de potentiel entre ces deux points, à la condition que la résistance du voltmètre ou du circuit dérivé qui le comprend soit de *beaucoup supérieure* à celle du conducteur entre les points choisis. Tout galvanomètre peut donc servir de voltmètre. Pour le graduer, on peut former un circuit avec une pile-étalon, par exemple un Latimer-Clark à faible résistance intérieure (E = 1,435 volt), le galvanomètre et une résistance supplémentaire. On fait varier cette résistance jusqu'à ce que la déviation de l'index du galvanomètre soit de 143,5 divisions. Le galvanomètre accompagné de sa résistance supplémentaire, peut

[1] Nous désignerons la force électromotrice par l'abréviation *f. e. m.*

faire office de voltmètre, et chaque division équivaut à 0,01 volt. Si la première déviation avait été seulement de 14,35 divisions, la combinaison permettrait de mener les f. e. m. à 0,1 volt près.

Pour mesurer l'intensité du courant, on met, en un point quelconque du circuit, un galvanomètre étalonné en ampère ou en divisions décimales de l'ampère.

La mesure de la résistance se fait avec une approximation d'autant plus grande que les appareils sont plus sensibles.

Il est facile, en ajoutant quelques accessoires, d'appliquer cette méthode, avec le même galvanomètre pour mesurer les f. e. m. et les intensités. Il suffit de réaliser le schéma que nous donnons (Pl. I, fig. 1), indiqué par Vigouroux[1]. En P est la pile constante ; en E, E' sont les électrodes que nous supposons appliquées sur un corps humain C. Le galvanomètre est en G. Un instrument qui convient parfaitement pour ces recherches par son apériodicité et sa sensibilité, est le galvanomètre Déprez-d'Arsonval qui permet d'apprécier 0,0005 milliampère. M est une clef Morse, I une clef simple. R est une résistance égale à celle du galvanomètre ; R' est la résistance supplémentaire telle que nous l'avons indiquée plus haut, appelée encore bobine de circuit.

L'intensité se mesure constamment ; le contact de la clef Morse se fait tout seul en I ; le circuit est alors PECE'GIN. Le galvanomètre fonctionne comme ampèremètre et donne l'intensité du courant.

Pour mesurer la différence de potentiel aux électrodes, on abaisse la clef Morse (contact en 2) et la clef simple. Le circuit primaire est PECE'RIN ; le circuit dérivé est ER'2GE' ; le galvanomètre fonctionne comme voltmètre.

Il suffit de diviser l'intensité en ampères par la différence de potentiel en volts, pour avoir la résistance, en ohms, du corps humain et des électrodes.

[1] Voir le dictionnaire d'électricité de Dumont.

Vigouroux dit, dans la leçon faite au sujet de la mesure de résistance dans l'année 1888 du *Progrès médical*, que si l'on note d'abord la f. e. m. aux bornes de la pile, puis aux électrodes pendant que le même courant passe, la différence mesure la polarisation entre les électrodes. Ainsi dans le cas cité, la f. e. m. de la pile est 14,5 volts; aux électrodes elle est de 14 volts: la différence 0,5 volt serait la polarisation. Nous ne croyons pas ceci exact; ce qu'on mesure est tout simplement la chute de potentiel due aux conducteurs, prises du courant, etc. La mesure de la polarisation ne peut se faire que par une méthode bien plus compliquée.

Méthode du pont de Wheatstone. — Soient quatre résistances A,B,C,D, disposées sur les quatre branches d'un losange, dont deux angles opposés sont reliés aux deux pôles d'une pile, et les deux autres angles aux deux bornes d'un galvanomètre. C'est la combinaison que l'on désigne sous le nom de Pont de Wheatstone. S'il existe entre les quatre résistances la relation

$$AC = BD$$

dans laquelle A et C sont les deux résistances sur deux branches parallèles, B et D les autres, les deux angles, reliés au galvanomètre, sont au même potentiel, c'est-à-dire que cet instrument n'est traversé par aucun courant. Si l'on connaît, évaluée en ohms, l'une des résistances, le rapport de deux autres, on peut calculer, en ohms, la quatrième. Les trois résistances connues sont en général fournies par des boîtes de résistance.

Le galvanomètre doit être aussi sensible que possible; la pile de mesure doit être constituée par une simple pile à eau. Enfin une double clef permet de lancer le courant dans les branches du pont d'abord, puis après dans le galvanomètre.

Mais la relation que nous avons indiquée n'est vraie que s'il n'existe pas dans le pont de force électromotrice. Or ce fait se produit souvent quand on mesure la résistance de tissus orga-

niques. Il peut donc en résulter des erreurs. Il y a deux moyens de les éviter. Frœlich a démontré qu'il suffit de noter d'abord la déviation de l'index du galvanomètre produite par le courant que détermine cette force électromotrice seule, et de prendre pour nouveau 0° du galvanomètre la division atteinte par l'index. La deuxième méthode, plus simple, consiste à diminuer la sensibilité du galvanomètre et à négliger l'erreur commise. Il faut auparavant s'assurer que cette erreur est négligeable.

La méthode du pont convient très peu à la mesure de la résistance électrique du corps humain. On pourra s'en rendre compte dans la suite.

Transformation de l'énergie électrique dans un conducteur. — Le courant qui traverse un conducteur représente une certaine quantité d'énergie : une partie en est transmise et continue sa route sous forme d'énergie électrique ; une autre est transformée. Cette énergie transformée se retrouve, soit sous forme d'énergie physique, soit sous forme d'énergie chimique. De la transformation en chaleur nous ne dirons qu'un mot au point de vue pratique : on ne doit jamais lancer dans les bobines de résistance que des courants faibles, sinon l'échauffement que produit le courant suffit à en altérer la valeur. On s'exposerait à des erreurs en employant de forts courants dans le but d'avoir plus d'exactitude.

Actions cataphoriques. — Indépendamment des actions thermiques, le courant peut engendrer, dans certaines conditions, des effets mécaniques d'une nature particulière, dits cataphoriques. C'est Du Bois Reymond qui les a découverts en 1860. Munk les a étudiés après lui. Si on fait passer un courant à travers un corps poreux imbibé de liquide, on voit que la résistance de ce corps augmente et atteint un maximum ; si à ce moment on interrompt le courant et qu'on mesure la résistance de temps en temps, on la voit diminuer jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur

primitive. Ce retour se fait plus rapidement si on fait passer le courant en sens inverse. Il n'y a pas là un phénomène de décomposition chimique, mais le changement de résistance vient d'un transport de liquide, sous l'influence du courant, à travers le corps poreux, de l'électrode positive (ou anode), à l'électrode négative (ou cathode). Comme la résistance de ces corps varie avec le degré d'imbibition, les parties qui s'appauvrissent en liquide deviennent moins conductrices : la résistance totale augmente. Tel est le phénomène que l'on désigne sous le nom de cataphorèse.

Par quelle série de transformations l'énergie électrique accomplit-elle ce travail mécanique ? — Il est probable qu'il y a modification dans l'état moléculaire du liquide, variation dans la constante capillaire : de là des phénomènes de transport dans les conduits capillaires du corps poreux. La même théorie permet d'expliquer les phénomènes d'osmose par action électrique. L'intensité des effets produits dépend de la force électromotrice employée. On comprend qu'il y ait dans les tissus organisés, des phénomènes d'osmose et de cataphorèse, d'autant plus intenses que la force électromotrice employée est plus considérable ; et chaque nouvel état physique amènera une variation correspondante dans la résistance électrique. Comme la théorie physique et l'étude expérimentale de ces phénomènes, si intéressants pour le physiologiste, sont très peu avancées au point de vue physiologique, nous sommes obligé de nous borner à ces quelques notions sommaires.

Actions électrolytiques.— Lorsque le courant traverse certains corps composés, à l'état de fusion ou de dissolution, il les décompose. Le corps décomposé s'appelle l'électrolyte ; les produits de la décomposition sont les *ions*. Il faut, pour déterminer cette décomposition, au moins une certaine f. e. m., qui dépend de l'énergie de formation de l'électrolyte considéré. Si la f. e. m.

dont on dispose est trop faible, on constate, après la fermeture, que le courant diminue rapidement d'intensité et devient nul (sauf les pertes par défaut d'isolement). Aucun produit de décomposition n'apparaît sur les électrodes. Mais il s'est pourtant produit à leur surface une modification ; si on les réunit par un fil métallique, après avoir interrompu le courant primaire, on constate un courant secondaire de l'anode à la cathode. La f. e. m. qui détermine ce courant s'appelle f. e. m. de polarisation. Puisqu'elle a pu annuler le courant primaire, elle est opposée, et au plus égale à la f. e. m. employée ; elle prend aussi le nom de force contre-électromotrice. Ce phénomène prend le nom de polarisation. Il y a donc, dans toute électrolyse, une phase de décomposition sans produits apparents, la phase de polarisation. La force électromotrice de polarisation ne peut dépasser un maximum, qui est égal à celle qu'aurait une pile formée des produits de décomposition de l'électrolyte considéré. Si la f. e. m. dont on dispose est plus grande, il y a d'abord polarisation ; la f. e. m. de polarisation atteint un maximum que nous appellerons P; à partir de ce moment, la décomposition commence et suit un cours régulier : les composés de l'électrolyte apparaissent aux électrodes. A ce moment, l'intensité du courant est donnée par la formule

$$E - P = RI$$

On voit que si la f. e. m. de polarisation P était nulle, mais si la résistance R avait augmenté d'une certaine quantité Q, on pourrait avoir la même intensité I. Il faudrait que Q soit telle que l'on ait

$$E = (R + Q) I$$

On voit donc que, par passage du courant à travers un électrolyte, la résistance de cet électrolyte semblera augmentée.

Les conséquences de ces phénomènes nous importent à plusieurs points de vue.

Il est évident que par l'emploi des électrodes dont on se sert habituellement en électrothérapie, on ne peut éviter des phénomènes intenses de polarisation. Le métal qui constitue ces électrodes est le laiton ou l'étain ; le feutre qui le recouvre est imbibé d'eau salée, d'eau acidulée. Il doit donc y avoir une augmentation apparente de résistance.

Si l'on veut procéder à des mesures de résistance sur le corps humain, il faut rejeter l'emploi de pareilles électrodes, comme l'ont montré tous ceux qui se sont occupés de cette question. Mais quelles sont les électrodes que l'on doit adopter? En général, on choisit comme métal le zinc amalgamé ; comme liquide pour imbiber l'enveloppe (qui est ici nécessaire), une dissolution de sulfate de zinc. En ce cas, la polarisation est considérablement amoindrie, mais elle n'est pas complètement annulée, car il peut y avoir polarisation entre électrolytes différents : ici ce sera entre le sulfate de zinc et le chlorure de sodium de la sueur. On ajoute du reste parfois une deuxième enveloppe imbibée de chlorure de sodium à 1 %.

On pourrait aussi se servir des électrodes de d'Arsonval, en argent recouvert d'une couche de chlorure d'argent ; et pour liquide destiné à imbiber l'enveloppe, du chlorure de sodium à 1 %. On pourrait du reste probablement les employer sèches. Quant aux dimensions et à la forme à donner aux électrodes, ceci ne dépend que du but que l'on poursuit. Il faut qu'elles soient portées par un manche absolument isolant.

Mesure de résistance par les courants alternatifs. — Les phénomènes de polarisation ne permettent pas de mesurer la véritable valeur de la résistance d'un électrolyte (et les tissus et liquides de l'organisme sont dans ce cas) par les méthodes qui emploient des courants continus, qu'ils soient instantanés ou non. Aussi tourne-t-on la difficulté avec des courants alternatifs, qui suppriment la polarisation.

La méthode peut être, soit celle de la loi de Ohm, en se servant de voltmètres et d'ampéremètres spéciaux ; soit celle du pont de Wheatstone: La pile est remplacée par un générateur de courants alternatifs ; le galvanomètre, par un électrodynamomètre ou un téléphone.

Comme générateur de courants alternatifs, on peut se servir soit d'un appareil faradique, soit d'une dynamo. Il faut lancer dans la bobine inductrice le courant primaire à intervalles fixes. On peut employer un interrupteur à roues dentées, mû par mouvement d'horlogerie, ou un interrupteur acoustique qui permette d'avoir des interruptions extrêmement nombreuses et dont le nombre soit pourtant rigoureusement connu ; ou enfin un simple trembleur ordinaire. Mais dans ces conditions, les courants alternatifs sont égaux en quantité d'électricité, mais non en durée ou en tension. Ce ne sont pas des courants sinusoïdaux, ainsi que l'a montré le Dr d'Arsonval.

Il est de beaucoup préférable de se servir d'une petite dynamo, par exemple le moteur Marcel Deprez, tournant à une vitesse suffisante. Dans ces circonstances, le son rendu par le téléphone est absolument pur et musical. Les courants possèdent la même force électromotrice maxima dans les deux sens, la même durée, et la même quantité.

Il est une deuxième difficulté, dans l'application de cette méthode, peut-être encore plus importante au point de vue pratique, et qui demande, pour être complètement surmontée, un matériel tout spécial. Si on se sert, dans le pont, de bobines de résistance métallique ordinaires, si bonnes que soient ces bobines, il existe toujours des phénomènes de self-induction, de sorte qu'il est impossible de réduire le téléphone au silence.

Le son téléphonique ne fait que passer par un minimum : il est déjà difficile de préciser l'instant où le minimum est atteint; mais cette condition serait-elle exactement remplie, la mesure peut néanmoins être inexacte, car le pont, réglé par le minimum

de bruit, peut être absolument faux au point de vue de la vraie valeur des résistances. Le seul moyen d'éviter cette cause d'erreur est d'employer des résistances rectilignes, métalliques, ou des rhéostats liquides sans polarisation.

Nous avons admis qu'on entendait un minimum de bruit. Si la résistance du pont était trop grande, le téléphone pourrait se taire pendant un certain temps: la mesure deviendrait encore plus difficile.

DEUXIÈME PARTIE

Résistance des Tissus

On comprend, d'après les notions que nous avons résumées brièvement que la mesure de la résistance spécifique des tissus ne soit pas chose facile. On ne peut opérer que sur des morceaux aussi frais que possible, mais qui subissent toujours une certaine évaporation, qui se refroidissent, changent de forme. Il intervient des actions cataphoriques, électrolytiques, etc. Bref, il existe une quantité de conditions qui influent sur la résistance électrique, et dont il faut tenir compte.

Dans certaines circonstances il est nécessaire d'éliminer les actions électrolytiques, mais dans d'autres il est bon qu'on puisse les mesurer. Elles sont utiles à connaître au point de vue des actions de l'électricité après le passage d'un courant, après sa transformation d'énergie actuelle en énergie potentielle. Aussi commencerons-nous par parler de la résistance spécifique des muscles et des nerfs, d'abord parce que ces tissus forment ou bien la majorité de la masse du corps, ou bien les conducteurs les plus naturels du flux électrique, et puis parce que l'étude de cette question a été faite avec une grande compétence par Hermann.

Polarisation du muscle et du nerf. — Nous avons vu les phénomènes qui se produisent dans un électrolyte, lorsque le courant est amené par des lames métalliques. Si la f. e. m. disponible est plus grande que la force électromotrice de polarisation, il y a décomposition ; si elle est plus petite, le courant s'annule. Admettons que la force électromotrice de polarisation soit propor-

tionnelle à l'intensité du courant, hypothèse qui se traduit par la relation $P = QI$. Cette quantité Q, dite constante ou quotient de polarisation, a les dimensions d'une résistance, et représente en effet la résistance supplémentaire telle que l'on ait

$$E = (R + Q)\,I$$

On peut calculer la quantité Q par deux méthodes : 1° mesurer P et I ; 2° mesurer R + Q, résistance apparente par les courants continus ; puis R, résistance vraie, par les courants alternatifs. Mais un tissu peut présenter des éléments meilleurs conducteurs que d'autres, c'est-à-dire que les lignes de force pourront se grouper et constituer comme des circuits dérivés ; on pouvait se demander si la même théorie subsistait en ce cas. Hermann démontre mathématiquement que dans un système complexe de circuits dérivés polarisables, il existe une résistance Q qui est identique avec le quotient de polarisation défini plus haut. Les mêmes méthodes de mesure sont donc applicables.

Dans ces conditions, les courants alternatifs éliminent-ils la polarisation ? Le calcul montre qu'elle n'est rigoureusement nulle que quand la fréquence des courants est infinie ; qu'elle ne peut donc être complètement annulée et qu'elle est d'autant plus considérable que la durée d'une période est plus longue, ou que la vitesse de polarisation est supérieure à la vitesse de dépolarisation. Il sera donc nécessaire de déterminer expérimentalement si cette méthode permet d'arriver au résultat voulu.

Courant continu. — Mesure de l'intensité et de la force électromotrice de polarisation. Le courant polarisant (Pl. I, fig. 2) était pris comme dérivation sur le circuit de la pile P et de la résistance R. Lorsque le commutateur C était dans la position telle que le contact fût établi en I, le courant parti de A arrivait par l'électrode impolarisable E dans le muscle M, le traversait, sortait par l'électrode E′, passait dans la première bobine B du galvanomètre G, et revenait en A′. On avait ainsi l'intensité. Pour mesurer la force

électromotrice de polarisation, Hermann employait la méthode de compensation. Un circuit était constitué par une pile constante P′, une résistance R′ et un fil métallique tendu D D′ sur lequel courait un curseur H. On conçoit que l'on puisse prendre les résistances de ces differentes parties telles qu'il existe entre les points D et H une différence de potentiel connue. Or, si le contact du commutateur C est établi en 2, rompu en 1, on voit qu'il n'y aura aucun courant dans le galvanomètre quand la différence de potentiel H/D sera égale à la f. e. m. E/E′ entre les deux électrodes.

On voit que le point faible de cette méthode venait de ce qu'on mesurait la f. e. m. de polarisation, après que le courant qui la développait avait cessé de passer. Il en résultait une déperdition de f. e. m., d'autant plus considérable que cette dernière était plus élevée. Malgré les précautions expérimentales prises pour prévenir cette perte et opérer les mesures dans le moins de temps possible, il y avait toujours des erreurs systématiques.

La polarisation se développe avec le moindre courant et la plus courte durée de fermeture. Elle s'est montrée proportionnelle à l'intensité du courant, quand il était faible ; mais pour de forts courants la proportionnalité n'avait plus lieu. Hermann admet que s'il n'a pas trouvé un résultat constamment conforme à sa théorie, c'est que sa méthode de mesure, ainsi que nous le disions, ne lui permettait pas de mesurer exactement P, et il conclut néanmoins que le quotient de polarisation est constant.

La durée du courant augmente la polarisation. Mais jusqu'à quelle limite? C'est ce que le savant physiologiste allemand ne nous dit pas. Pourtant, il faut qu'il y en ait une.

La polarisation n'est pas proportionnelle à la longueur du muscle traversée : elle croît moins vite que la longueur n'augmente.

La polarisation est plus élevée quand le courant traverse le muscle dans une direction perpendiculaire aux fibres, que quand

totale R_1, et le quotient de polarisation Q_1, en notant I_1 et P_1.

Cette méthode a conduit aux résultats importants suivants :

Même pour les plus courtes fermetures, la résistance de polarisation atteint peut-être le quart pour le muscle, et le vingt-quatrième pour le nerf, de la résistance vraie.

Lorsque la durée du courant augmente, la résistance supplémentaire due à la polarisation peut égaler la résistance vraie pour le muscle, ou le tiers de la résistance vraie pour le nerf.

Siège de la polarisation. — Il reste maintenant à utiliser les données acquises pour résoudre la question très intéressante, de savoir quel est le siège de la polarisation.

Le fait qu'il existe, par le passage en long du courant, une polarisation qui augmente avec la longueur traversée, nous oblige à admettre une polarisation qui ne réside ni à l'entrée ni à la sortie du courant. Elle ne siège pas dans l'intérieur des cellules, puisque des tissus dans lesquels on conçoit peu une polarisation endo-cellulaire, tels que les tendons, sont polarisables. Il faut donc accepter que cette polarisation, qui n'est qu'une partie de la polarisation totale, réside entre les fibres : c'est ce que Hermann appelle polarisation d'infiltration.

Mais elle est relativement faible à côté de la polarisation endocellulaire, qui se développe principalement par un passage du courant en travers, et qui peut encore s'observer par une introduction latérale du courant cheminant ensuite parallèlement aux fibres. Aussi la résistance en travers ne dépasse la résistance en long que lorsque et parce que la polarisation se développe. Les résistances vraies doivent être bien plus rapprochées, comme le sont les conductibilités thermiques. On s'explique facilement que la dépolarisation se fait beaucoup plus vite lorsque c'est le contenu de la cellule qui se polarise, car les ions sont beaucoup plus près les uns des autres et peuvent se neutraliser plus rapidement.

Il existe un appareil qui permet de se rendre compte de la valeur de la polarisation dans la cellule, comme nous l'expliquerons plus loin. C'est le *noyau-conducteur*, le *kern-leiter* de Matteucci : un fil métallique enveloppé d'une atmosphère liquide traversée par un courant électrique. On peut prendre un fil de platine logé dans l'axe d'un tube de verre rempli d'une dissolution saturée de sulfate de zinc. Deux fils de zinc amalgamé, servant d'électrodes, plongent dans la dissolution et sont mis en relation avec les bornes d'une pile. La surface où se fait la polarisation est celle qui sépare le fil conducteur de son atmosphère liquide.

Avec un courant continu, le quotient de polarisation croît beaucoup moins vite que l'intensité du courant. L'accroissement du nombre des fils-noyaux n'augmente la résistance apparente que parce qu'ils diminuent la section de l'enveloppe liquide. La polarisation augmente avec la finesse du tube, si par exemple on emploie un fil métallique revêtu d'une simple enveloppe imbibée d'un liquide conducteur.

Avec les courants alternatifs ou le courant continu, l'appareil offre la même résistance si le fil métallique est enlevé ; et cette résistance est égale à celle que l'appareil, muni de son fil métallique, offre au courant continu. On peut donc déduire de ceci que le courant passe alors exclusivement par l'enveloppe, et que la polarisation annule la dérivation qui suit le noyau-conducteur. La résistance aux courants alternatifs de l'appareil complet est indépendante de sa longueur, tandis qu'elle est sensiblement proportionnelle à la distance des électrodes pour les courants continus. Les courants alternatifs suivent le fil métallique ; et les courants continus, l'enveloppe conductrice : donc, avec polarisation le courant ne passe presque pas par le noyau ; sans polarisation, le suit presque exclusivement.

Admettons que le même phénomène se passe à l'intérieur de la cellule, c'est-à-dire que la polarisation endocellulaire,

il leur est parallèle. A égales intensité et durée du courant, la polarisation en travers est neuf fois plus forte que la polarisation en long ; mais aussi la première disparaît plus vite que la seconde. Nous discuterons plus loin ce résultat très important. Dans le nerf, c'est encore la polarisation en travers qui l'emporte.

L'état du muscle influe sur la polarisation : les muscles atteints de rigidité cadavérique peuvent présenter une forte polarisation, quoique moindre qu'à l'état frais. La cuisson anéantit ce pouvoir.

Le nerf présente longitudinalement une bien plus grande susceptibilité de polarisation que le muscle, mais elle cesse aussi plus rapidement.

Il est intéressant de comparer la valeur maxima de la f. e. m. de p. avec celle des combinaisons inorganiques : entre métal et électrolyte, entre électrolytes, etc. La polarisation des tissus musculaires et nerveux dépasse de beaucoup celle qui se développe entre deux électrolytes. Leur rapport se comporte sensiblement comme celui des f. e. m. des tissus organisés et des piles formées de ces liquides. Les plus élevées des f. e. m. qu'Hermann ait trouvées sont de 0,429 volt pour le nerf et 0,038 volt pour le muscle. Le maximum de polarisation de lames de platine dans l'acide sulfurique dilué, est 2,330 volts ; de cuivre, 0,79 volt. Il se croit donc autorisé à dire que la polarisation du nerf atteint des valeurs qui s'approchent de celles qu'on rencontre dans la polarisation des lames métalliques.

Méthode des courants alternatifs. — Hermann a employé ensuite la méthode des courants alternatifs, telle que nous l'avons fait comprendre. Le générateur des courants était une bobine d'induction. Ici se plaçait la difficulté que nous avons signalée : le téléphone cessait de parler avant que l'équilibre ait été atteint. Il y avait donc incertitude sur la vraie résistance.

Pour avoir la plus grande fréquence de courants alternatifs,

un interrupteur acoustique permettait d'obtenir 1,584 courants induits par seconde.

Pour le muscle, la différence Q de la résistance apparente et de la résistance vraie varia comme le quotient de polarisation, mais offrit en général des valeurs plus élevées. Nous savons que la première méthode de mesure ne permet pas d'avoir la vraie valeur de P. Peut-être aussi, dit Hermann, les courants induits excitent le muscle et en diminuent la résistance.

Mais pour le nerf la différence fut si faible que l'on doit admettre que les courants alternatifs diminuent, mais n'annulent pas la polarisation, même avec la grande fréquence signalée. La vitesse de polarisation est donc très grande dans le nerf.

Résistance vraie. — Les deux méthodes générales employées jusqu'à présent ne permettent pas de déterminer exactement la constante de polarisation. Aussi Hermann a-t-il adopté une troisième méthode qui repose sur la théorie suivante. Si on laisse le courant de mesure fermé constamment, on obtient les résistances totales R_1, R_2, R_3, etc., à différents moments. Une résistance R_1 est égale à la somme de la résistance vraie R et de la résistance supplémentaire r_1. Or, ces résistances r_1, r_2, r_3, ne sont pas égales aux quotients de polarisation Q_1, Q_2, Q_3, obtenus par la méthode de compensation, parce qu'elle n'est pas assez rapide, mais on peut admettre qu'elles leur sont proportionnelles.

Des équations :

$$\begin{aligned} R_1 &= R + r_1 \\ R_2 &= R + r_2 \\ R_3 &= R + r_3 \text{ etc.} \end{aligned} \qquad \frac{r_1}{Q_1} = \frac{r_2}{Q_2} = \frac{r_3}{Q_3}$$

on déduit la valeur R, et les valeurs de r_1, r_2, r_3, etc.

$$R = \frac{R_1 Q_2 - R_2 Q_1}{Q_2 - Q_1}, \qquad r_1 = Q_1 \frac{R_2 - R_1}{Q_2 - Q_1}$$

Il suffit donc de mesurer, à un instant donné, la résistance

choisie. Néanmoins il put observer que la résistance en travers, sous l'influence des changements de température varie plus que la résistance en long.

Si l'on admet la théorie d'Hermann, ce résultat ne peut étonner. La résistance que Boll mesure est la résistance totale, et celle-ci variera d'autant plus que la polarisation sera elle-même plus sujette à des variations déterminées par les changements de température. Hermann a trouvé, avec une régularité absolue, que le froid augmente et que la chaleur diminue la polarisation. Nous pouvons nous expliquer facilement cette loi : la décomposition de l'électrolyte endocellulaire exige une énergie d'autant plus considérable que la température est plus basse ; or à cette énergie correspond une f. e m., qui n'est autre, quand on décompose l'électrolyte, que la f. e. m. de polarisation. Si l'énergie nécessaire à la décomposition diminue, il en est de même de la f. e. m. de polarisation. Lorsque la température monte, c'est l'inverse qui se produit.

La résistance en long sera égale à la résistance en travers quand la f. e. m. de p. sera devenue nulle. C'est en effet ce qui se passe dans les muscles cuits, car il n'y a plus de polarisation.

Malgré une étude des plus approfondies de la résistance du muscle et du nerf, Hermann ne nous a pas donné des mesures quantitatives. Il a probablement jugé que donner des chiffres absolus est une chose bien difficile. On peut d'après ses expériences se rendre compte des difficultés d'une méthode qui permettrait de mesurer toutes les données accessoires.

Résistance des tissus. — Mais soit avant, soit après lui, ces difficultés n'ont pas arrêté les physiologistes, et, ce qui est facile à prévoir, les résultats sont absolument différents suivant les divers observateurs, indépendamment de la manière de les exprimer, qui varie avec un chacun. Nous avons suivi l'ordre chronologique, faute de mieux.

Harlees a trouvé que la résistance du nerf est double de celle du muscle ; quinze fois plus petite que l'eau distillée et 115 millions de fois plus petite que celle du cuivre. Ajoutons que Harlees, ne se doutait pas que l'eau distillée peut avoir des pouvoirs conducteurs très différents.

Pour Matteucci, la résistance du nerf, par rapport à celle du muscle, est 4 ; pour Schlesinger, environ 2,7.

Eckhard trouve que le muscle est le meilleur conducteur de tous les tissus. Il prend pour unité sa résistance, et les résistances des autres tissus sont alors représentées par les nombres : nerf 1,9 à 2,4 ; tendons 2,7 ; cartilage 2 ; os 16 à 22.

Ziemssen, pour un morceau de même dimension, la résistance du bulbe est 2,651 unités Siemens ; du cerveau 1,693 unités Siemens ; de muscle 6,192 unités Siemens ; de peau 11,492 unités Siemens.

Rancke admet que le sang ne conduit pas autrement que les tissus humectés dans l'organisme vivant. La résistance du muscle est à peine plus grande que celle du nerf (1,2: 1). Mais la rigidité cadavérique rend la résistance du muscle deux fois moindre (Rancke) et celle du nerf deux fois plus grande (Munk).

Chapman et Brubacker ont trouvé que le rapport de la résistance en travers à la résistance en long est environ égal à 6 : 1 pour le muscle; 3: 1 pour le nerf. Les résistances seraient environ, en ohm-centimètre : muscle en long 200 et en travers 1,300 ; nerf en long 1,200 et en travers 3,200.

Le Dr Danion a repris, en 1889, la mesure de la résistance des tissus, mais par un procédé absolument défectueux. En général, la résistance de tous les tissus serait la même et égale à celle du muscle, sauf pour les os, qui n'auraient qu'un peu plus de la moitié de la résistance du muscle. Ce dernier résultat, en contradiction absolue avec ceux de tous les observateurs en ce qui concerne le tissu osseux, porte un coup sérieux à la méthode de cet expérimentateur. Tous les observateurs ont, en effet,

dans le tube nerveux, ou dans la fibre musculaire, soit assez puissante pour annuler le courant qui traverse le contenu de la cellule. Un courant en long passera facilement par le tout ; mais un courant en travers ne pourra suivre que la substance d'enveloppe, après complet établissement de la polarisation. Pour le vérifier, il faudrait connaître le rapport des dimensions linéaires de la substance striée d'un muscle à la substance interstitielle, sur une coupe perpendiculaire à la direction des fibres, et le même rapport pour le nerf. Langendorff l'a trouvé égal à 12:1 pour le muscle ; et à 5:1, pour le nerf. Ce sont aussi sensiblement les mêmes rapports que Hermann a trouvés pour la résistance en travers et en long du muscle et du nerf: les résultats coïncident parfaitement avec la théorie.

De là à conclure que le contenu protoplasmique musculaire ou nerveux peut présenter cette polarisation idéale, capable d'annuler le courant qui tend à le pénétrer, que cette propriété dont jouissent seules les lames métalliques plongées dans un électrolyte, constitue une propriété spécifique de la matière vivante, comme l'électrotonus, la contractilité, et aussi importante, il n'y a qu'un pas pour Hermann.

Sans chercher une explication, fondée sur les théories physiques que la science admet aujourd'hui, de ces phénomènes qui reposent peut-être sur des lois encore inconnues, sans discuter la notion de propriété spécifique de la matière vivante, il nous suffit de comprendre qu'il doit se passer dans l'intimité des tissus des phénomènes bien complexes, soit comme osmose, soit comme décompositions chimiques, sous l'influence du passage du courant continu, et même après qu'il a cessé d'agir. Quelles sont les modifications des tissus, quelle peut en être la valeur pour la thérapeutique ? Ce sont là des questions à résoudre dont le premier mot n'a même pas été prononcé.

Influence de la température.—Nous avons dit à peine quelques

mots de l'influence de la température sur la résistance du muscle ou du nerf, nous réservant de revenir sur ce point. Boll, dans une thèse inaugurale, a étudié cette question. Sa méthode de mesure était celle du pont, avec application du théorème de Frœlich. Le tissu expérimenté (muscle ou nerf d'une grenouille) était placé dans une chambre humide, plongée dans un réservoir d'eau à température constante, mais variable à volonté. On prenait la température de l'enveloppe liquide; on admettait que celle du tissu était la même.

L'influence de la température sur la résistance en long des muscles est très nette : la résistance diminue avec l'échauffement et augmente avec le refroidissement. Mais le coefficient moyen de variation de résistance par degré n'est pas le même si la température descend au-dessous ou monte au-dessus de 15°. Voici les moyennes de plus de 30 expériences :

Muscle frais : entre 2—15°C, 0,042; entre 15—25°C, 0,031; entre 15—35°C, 0,025

Nerf frais : entre 2—15°C, 0,031 ; entre 15—25°C, 0,021 ; entre 15—35°C, 0,018

Peau fraîche : entre 2—15°C, 0,041; entre 15—25°C, 0,021; entre 15—35°C, 0,018

Une dissolution de sulfate de cuivre de 8 °/₀, à 28 °/₀ une dissolution de sel marin à 5 °/₀ possèdent environ le même coefficient d'augmentation de résistance de 0,02 par degré centigrade. On voit qu'il est plus faible que celui des tissus.

Si l'on prend les muscles en long ou en large, les variations de température doivent faire varier non seulement la résistance vraie, mais encore la polarisation.

Le procédé que Boll emploie est défectueux : il en convient du reste lui-même, car il ne lui permettait pas de faire passer le courant exclusivement dans un sens ou dans l'autre : il plaçait la pointe des électrodes sur le muscle et non à une section

remarqué que le cerveau semble être protégé assez efficacement contre le passage du courant électrique, par la boîte crânienne.

Nous verrons plus loin que Eulenburg a mesuré la résistance du sang et du liquide céphalo-rachidien ; il a trouvé les résultats suivants : liquide céphalo-rachidien 29 ohm-centimètres ; sang 72 ohm-centimètres.

Enfin, le Dr Dawson Turner a mesuré, par la méthode des courants alternatifs, la résistance électrique de l'urine, et a remarqué qu'elle variait suivant la quantité de matières en dissolution (1891).

Quant au rapport entre la résistance d'un tissu et la quantité de liquide qu'il contient, nulle expérience n'a été faite. Cardew seul a mesuré la résistance totale de corps humains secs, puisqu'ils avaient été préparés en 1769, et l'a trouvée en général au-dessus de 6 millions d'ohms. Telles sont les données bien contradictoires que les divers expérimentateurs fournissent.

Elles ne nous seront d'aucune utilité dans la troisième partie de notre travail, qui est aussi la plus importante. Mais nous avons voulu présenter un tableau complet de tous les résultats obtenus qui touchent à la question de la résistance du corps humain.

TROISIÈME PARTIE

Résistance électrique du corps humain à l'état normal et pathologique.

Dans un tout aussi complexe que le corps humain, la résistance électrique est impossible à calculer en partant de la résistance des éléments, même en admettant que nous ayons toutes les données nécessaires pour ce calcul. Or, nos connaissances sur les résistances spécifiques des tissus et des liquides de l'organisme, les variations qu'elles subissent sous l'influence des divers agents, sont des plus bornées. Non seulement le problème est impossible à aborder par cette voie, mais c'est au contraire en partant de la mesure de la résistance totale dans diverses circonstances que l'on peut déduire les variations de la résistance des organes, et, par suite, les changements qu'ils subissent sous l'influence de divers agents, surtout de l'électricité.

Il faut, pour effectuer cette mesure, appliquer la méthode expérimentale dans toute sa rigueur. Or, cette méthode repose sur deux principes essentiels. Il y a deux sortes de facteurs dans tout phénomène ; d'abord, il en existe qui sont variables à la volonté de l'opérateur, et dont les valeurs doivent être parfaitement connues de lui : un choix judicieux d'appareils lui permet d'arriver à ce résultat. Les facteurs du deuxième ordre varient indépendamment de la volonté : ce sont les lois de leurs variations qu'il faut dégager. Une plus ou moins longue série d'expériences permet d'éliminer successivement ces variables indépendantes et de connaître la loi qui n'envisage que l'une d'elles. Tout travail, au cours duquel ces deux principes fondamentaux

n'ont pas été appliqués, prête toujours à la critique. Si nous insistons sur ce point, c'est que nous allons justement rencontrer des phénomènes dont l'explication exacte est souvent difficile à donner, et ne peut être fournie que par une méthode absolument rigoureuse; aussi trouverons-nous constamment des théories contradictoires.

On peut mesurer la résistance initiale, c'est-à-dire celle que le courant électrique n'a pas modifiée, quelles que soient d'ailleurs les conditions dans lesquelles se trouve le sujet de l'expérience : nous en parlerons d'abord ; nous verrons ensuite comment cette résistance varie avec les divers courants ; les causes de ces variations feront l'objet d'une troisième partie ; enfin, nous examinerons quels sont les résultats obtenus dans les diverses maladies.

I.

RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE INITIALE.

Pouillet est le premier qui ait mesuré, par la méthode de substitution, la résistance du corps humain : entre les deux mains elle fut égale à 1,061 ohms.

Lenz trouve un nombre double. R. Remak observe des nombres qui varient entre 1,000 et 1,600 unités Siemens. Kohlrausch arrive à des résultats sensiblement analogues, de 1,600 à 3,600 unités Siemens.

Erb n'a entrepris que des mesures relatives, mais il insiste sur les valeurs initiales très différentes chez divers sujets ou chez le même à différents moments.

Tschiriew et de Watteville appliquent la loi de Ohm, mais se servent d'un courant trop fort (2 à 5 milliampères) pour la mesure d'une résistance initiale. Aussi trouvent-ils des nombres qui oscillent entre 3,000 et 80,000 ohms.

A partir de Gaertner, on emploie des électrodes impolarisables

et le pont de Wheatstone comme méthode de mesure. Ce dernier auteur trouva, aux avant-bras, des résistances variant de 100,000 à 300,000 ohms.

Jolly a entrepris une étude systématique de la topographie des résistances. Il a opéré sur dix individus de chaque sexe, d'âge variable, fous ou épileptiques. Comme pile de mesure, un élément Siemens ; comme galvanomètre, « un grand galvanomètre horizontal d'Edelmann ». Nous avouons que nous aurions préféré connaître sa sensibilité, plutôt que le nom du constructeur, car Stintzing et Graeber, Silva et Pescarolo le déclarent insuffisant. Le pont permettait de mesurer jusqu'à 400,000 unités Siemens, mais, comme on multipliait par 100 l'erreur sur la résistance lue, les hautes valeurs obtenues ne devaient pas être absolument exactes. Les électrodes, composées de plaques de zinc amalgamé, à chemise imbibée d'une dissolution de sulfate de zinc et montées sur manche isolant, avaient chacune 12,5 centim. carrés et étaient appliquées en des points symétriques du corps.

Les nombres que Jolly a trouvés sont des plus variables. Ainsi nous citerons, comme exemple caractéristique : un homme de 25 ans offre aux bras et aux jambes une résistance égale à environ 400,000 ohms ; aux tempes et aux joues, environ 15,000 seulement ; un autre, âgé de 64 ans, présente aux bras et aux jambes la même résistance que le précédent, mais 190,000 aux tempes et 40,000 ohms aux joues. Nous ne donnerons pas les tables que Jolly a dressées ; car, pour se faire une idée exacte de la topographie des résistances initiales, il faudrait l'établir en prenant la moyenne d'un grand nombre de mesures, répétées dans toutes les conditions possibles.

Pourtant on peut dire qu'en général les résistances initiales sont plus élevées chez les femmes que chez les hommes ; Silva et Pescarolo s'accordent sur ce point avec Jolly ; ils ont trouvé de plus que les individus de petite taille ont en général une résistance plus grande que ceux de haute taille ; il faut ajouter que

d'autres auteurs, quoique ayant soigneusement pesé les conditions dans lesquelles ils ont opéré, n'ont rien remarqué à propos du sexe et de la stature.

Un des résultats des expériences de Jolly, sur lequel il insiste longuement, est une très faible résistance (en comparaison des autres) à la paume de la main et à la plante des pieds. Ce fait est en contradiction avec les résultats antérieurs de Drossdoff, Erb, Tschiriew et de Watteville, qui concordent sensiblement entre eux : on peut, d'après ces auteurs, ranger par ordre de résistance croissante : les joues, les tempes, le cou, le dos, les membres, la paume de la main et la plante du pied. Aussi Jolly prit le soin de faire faire une expérience de contrôle par Kundt et Kohlrausch, qui arrivèrent au même résultat. On aurait pu objecter que les individus avaient les extrémités des membres soignées et à peau fine. Mais même au talon, c'est-à-dire en un point où la couche épidermique est épaisse, la résistance, quoique plus forte qu'à la voûte plantaire, se montra néanmoins plus faible qu'aux autres régions. D'ailleurs, le même fait fut observé chez des travailleurs à mains calleuses. La vraie cause de cette moindre valeur de la résistance tient sans doute aux conditions dans lesquelles se sont faites les expériences. C'était pendant la période froide de l'année, dans une chambre chauffée modérément, pour empêcher la transpiration : ce qui, semble dire Jolly, n'empêcha pas qu'on ne pût l'éviter ; ce qui tend à prouver que la conductibilité de ces régions était d'emblée assez élevée, c'est la stabilité de la résistance au passage du courant ; alors que dans les autres régions le courant électrique détermine une diminution notable de la résistance, son action fut nulle à la paume de la main et à la plante du pied. Jolly admet qu'elles jouissent d'une résistance faible, mais constante.

Silva et Pescarolo sont d'accord avec lui sur le fait de la stabilité : si la résistance de ces deux régions change, elle augmente plutôt. Mais, en revanche, ils les considèrent comme les moins

conductrices. Si le fait de la stabilité est exact, quelle que soit d'ailleurs la grandeur de la résistance, il a une certaine importance ; comme la paume de la main est la région la plus accessible, il y aurait là un moyen de mesurer facilement et sûrement la résistance électrique d'un individu, et de se rendre compte de l'effet du courant sur les parties profondes, par exemple sur le système vasculaire. C'est aussi à la main que devrait se placer l'électrode indifférente. Or, bien des auteurs ont mesuré la résistance d'une main à l'autre, et les valeurs trouvées sont loin d'être concordantes. Il faudrait de plus admettre que le tissu cutané de la main, auquel on ne peut refuser des variations de transpiration, est incapable de présenter des modifications dans sa vascularisation ou d'être mieux imbibé par les actions cataphoriques. Il nous semble donc peu probable que ces régions présentent une résistance constante; mais de nouvelles expériences permettraient seules de trancher la question.

Deux autres régions, les joues et les tempes, offrent une faible résistance ; mais ici la conductibilité augmente beaucoup par le passage du courant électrique. Les tempes sont plus résistantes que les joues : résultats de Jolly qui concordent avec ceux de Erb, et ceux que Frey et Windscheid ont trouvés avec les courants alternatifs.

Silva et Pescarolo ont repris ces expériences de topographie des résistances, mais ils ne nous donnent aucun chiffre. Nous verrons plus loin leur méthode de mesure ; disons seulement que des deux électrodes, l'anode (72 cm^2) était fixée à l'épigastre, la cathode (9,5 cm^2) mobile. Le bras offre une moindre résistance que l'avant-bras, lui-même moins résistant que le dos de la main. En général, la surface du membre du côté de la flexion jouit d'une meilleure conductibilité que la face opposée : c'est ce que Frey et Windscheid ont aussi constaté. Le dos de la main et le dos du pied offrent une diminution lente et une valeur finale élevée de la résistance. Comme Jolly l'avait observé, c'est aux

joues que la résistance est la plus faible et diminue le plus rapidement.

On voit que l'on peut certainement ranger les diverses régions du corps par ordre de conductibilité ; mais la résistance initiale mesurée à la même place, chez le même sujet à différents moments, ou chez divers individus, présente souvent des différences énormes. Pour l'électro-diagnostic faut-il mesurer la résistance initiale, avec le plus faible courant, ou au contraire après entière modification par le courant le plus fort? Nous ne pourrons répondre qu'après avoir examiné les variations de la résistance sous l'influence du courant, et leurs causes.

II.

VARIATIONS DE LA RÉSISTANCE DUES AU COURANT ÉLECTRIQUE.

1° Courant continu. — Sous l'influence d'un courant continu, la résistance électrique du corps humain diminue d'une manière considérable. C'est R. Remak qui a le premier observé et signalé maintes fois cette diminution. Erb, E. Remak, de Watteville, Vigouroux, Estorc, l'ont mise en évidence. Gaertner l'a mesurée quantitativement et a montré avec quelle rapidité elle se produit, puisque la résistance est descendue dans un cas de 260,000 à 9,800 unités Siemens en une minute.

Mais cette question, très importante au point de vue pratique, demande une étude méthodique. Nous savons que les trois quantités : force électromotrice, résistance, intensité, qui définissent un courant, sont liées par les relations $E = RI$. Deux peuvent varier indépendamment l'une de l'autre : la force électromotrice et la résistance; l'intensité n'est qu'un facteur numérique qui dépend des deux autres. La loi de Ohm permet de remonter par le calcul, de l'intensité à la résistance, si l'on connaît la force électromotrice, et de l'intensité à la force électromotrice, si l'on connaît la résistance. Mais il faut avoir toujours présent à l'esprit

que l'intensité ne peut varier indépendamment de la résistance, si la force électromotrice reste constante. C'est la différence de potentiel aux électrodes, qui fait varier la résistance du corps humain, et cette variation retentit sur l'intensité du courant.

Stintzing et Graeber ont adopté une méthode de mesure défectueuse : ils ont combiné la mesure de la résistance par le point de Wheatstone, avec la mesure de l'intensité du courant qui traverse le corps, en plaçant un galvanomètre sur la branche qui contient la résistance humaine. Cette disposition permet sans doute de savoir quelle est la force électromotrice aux électrodes, mais, comme nous le disions, le plus important est de maintenir les électrodes à une différence de potentiel connue et constante, et de laisser varier l'intensité en sens inverse de la résistance du corps. Du reste, ces auteurs paraissent attacher une bien plus grande importance à l'intensité qu'à la force électromotrice.

Quelques exemples vont mieux faire comprendre notre pensée. Dans une expérience ils ont voulu faire varier le plus possible l'intensité du courant qui traverse le corps : ses valeurs extrêmes sont 0,05 et 0,23 milliampère. La différence de potentiel aux électrodes n'a varié que de 7,3 à 9,9 volts, alors que le nombre des éléments de la pile passait de 15 à 50, c'est-à-dire que la force électromotrice augmentait de 40 volts environ. On voit donc que la différence de potentiel aux électrodes variait bien moins qu'aux bornes de la pile. De plus, les quantités E, I et R variaient toutes trois : il était peu facile de déterminer exactement leur influence réciproque.

Dans un certain nombre d'expériences, Stintzing et Graeber ont voulu se rendre compte de la manière dont diminue la résistance, et ont, dans ce but, régularisé l'intensité du courant qui traversait la branche contenant le corps et le galvanomètre. Il était naturellement nécessaire de faire varier la différence de potentiel aux extrémités de cette branche : c'était s'écarter de la seule méthode qui permette d'analyser exactement le phénomène.

Silva et Pescarolo font la même faute en employant le même procédé : dans une expérience qu'ils citent complètement, ils cherchent à mesurer la diminution de résistance chez un individu soumis au courant continu ; or la force électromotrice aux électrodes tombe de 18,75 à 11,23 volts, non pas parce que la pile constante a varié, mais parce que la différence de potentiel aux extrémités d'une branche quelconque dépend des quatre résistances dans le pont. La valeur la plus basse de la résistance est 7,489 ohms ; elle eût été encore bien moindre, avec 18,75 volts.

Lorsqu'on applique en deux points du corps humain deux électrodes impolarisables, et qu'on les maintient à une différence de potentiel constante, la résistance diminue et atteint une certaine valeur qui reste fixe aussi longtemps que passe le courant ; si on augmente la différence de potentiel, ou bien la résistance diminue de nouveau, ou bien elle garde la même valeur. Dans le premier cas, elle avait atteint un *minimum relatif* ; dans le deuxième, un *minimum absolu*. C'est Martius qui a le premier indiqué nettement l'importance de ces deux minima. Dubois, qui s'est occupé de la même question, appliquait des forces électromotrices allant en augmentant successivement de 1,5 volt, jusqu'à 30 volts en tout. Mais il ne laissait passer le courant, à chaque augmentation, que pendant une minute. D'après ce qu'il dit, on comprend qu'il a vu le minimum relatif ; mais il n'y a pas insisté. Quant au minimum absolu, nous n'avons trouvé dans son mémoire, à défaut du mot, aucune phrase qui en exprime l'idée. Stintzing et Graeber arrivent aux mêmes conclusions que Martius, sans en avoir connu les travaux ; mais ils font correspondre le minimum relatif avec l'intensité, non avec la force électromotrice.

A chaque force électromotrice donnée correspond un minimum relatif, jusqu'au moment où la force électromotrice peut croître sans que la résistance continue à diminuer : le minimum absolu est alors atteint. On peut tracer deux courbes. La première, que nous appellerons la *courbe du minimum relatif* à une force élec-

tromotrice donnée, représente la variation de la résistance en fonction du temps : on prend les temps pour abscisses, et les valeurs de la résistance pour ordonnées.

Si l'on a toute une série de minima relatifs à différentes forces électromotrices, on peut tracer la *courbe des minima relatifs*, en portant des abscisses proportionnelles aux forces électromotrices, et des ordonnées proportionnelles aux minima relatifs. On obtient des courbes telles que celles que nous donnons.

La première de ces courbes est continue, ne présente pas de plateaux. Stintzing et Graeber disent que la résistance, après la rapide diminution du commencement, descend par une série de plateaux dont la durée va jusqu'à une minute : ils veulent dire que la variation de résistance pendant une minute est assez faible pour être négligeable.

Ces mêmes auteurs ont aussi observé un fait nié par Silva et Pescarolo, et qui demanderait à être vérifié : quand on augmente la force électromotrice, il y a d'abord une légère augmentation de résistance qui précède la diminution consécutive. C'est l'inverse, si l'on diminue la force électromotrice.

On peut se demander si le minimum obtenu avec une force électromotrice donnée, mettons 15 volts par exemple, est le même que celui que l'on obtient en appliquant d'abord une force électromotrice de 10 volts jusqu'à ce que le minimum relatif soit atteint, puis en ajoutant 5 volts. Il est probable que le résultat final est le même. Mais nous n'avons trouvé aucune expérience faite dans ce sens.

En admettant que ceci soit vrai, il y aurait une autre expérience à faire: déterminer le temps t_1 que met la résistance pour atteindre le premier minimum relatif à 10 volts et le temps t_2 qu'il lui faut pour passer du premier au second minimum ; puis, chercher le temps t_3 nécessaire pour que la résistance descende jusqu'à ce dernier minimum, en appliquant d'emblée les 15 volts. A-t-on $t_1 + t_2 = t_3$? Le raisonnement indique que la somme $t_1 + t_2$

doit être plus grande que le temps t_3. Cela demande vérification.

Si la courbe de diminution de la résistance pour une force électromotrice donnée est intéressante à connaître puisqu'elle montre la rapidité avec laquelle les actions physiologiques du courant interviennent, la courbe des minima relatifs permet de caractériser plus facilement la variation de la résistance chez un individu, et de comparer plusieurs résultats de cette nature.

A ce point de vue, le travail de Kahler nous a paru très intéressant. Il emploie la méthode de substitution. Le courant est fourni par une batterie de 40 éléments Sthœrer (F. e. m. de l'élément = 1,25 volt). Deux électrodes impolarisables de 28 centim. carrés sont placées : l'anode, sur la moitié gauche de la poitrine, vers le troisième espace intercostal, près du sternum ; et la cathode, sur la face antérieure de l'avant-bras droit. On commençait avec un nombre d'éléments tel que le galvanomètre indiquât le passage du courant. Toutes les 30″, l'intensité était notée. Quand elle était restée fixe pendant une minute, le nombre des éléments était augmenté de 2 ou de 4, jusqu'à 40 (F. e. m. = 50 volts). Quelquefois le minimum absolu était atteint avant l'emploi de toute la batterie ou la sensibilité du sujet forçait à s'arrêter plus tôt. Par substitution, on mesurait ensuite les résistances correspondantes à ces intensités, données par un galvanomètre absolu (Kahler donne encore le nom du constructeur plutôt que les constantes de l'appareil ; aussi nous est-il impossible de juger l'erreur commise).

Comme on le voit d'après les courbes que nous donnons, les minima relatifs sont d'autant plus rapprochés que les forces électromotrices sont plus élevées. La courbe présente une chute rapide au commencement, passe par un maximum de courbure et devient sensiblement parallèle à l'axe des x. Quelquefois elle présente des points d'inflexion. D'autres fois on ne trouve pas une courbe aussi caractéristique, mais seulement une portion de courbe du côté du minimum absolu ; cela montre : ou bien que

la diminution principale s'est faite sans qu'on l'ait vue, ou bien que l'individu était, dès le commencement, dans des conditions favorables pour le passage du courant.

Si l'on compare un certain nombre de ces courbes, obtenues chez des individus sains, on voit que pour les faibles forces électromotrices, les résistances pour une même abscisse sont très différentes ; mais, à mesure que la force électromotrice augmente, les limites extrêmes se resserrent, et pour 50 volts toutes les résistances sont ou seraient comprises entre 500 et 3,500 ohms.

Comme nous le verrons plus loin, si l'on trace les courbes correspondantes à deux points symétriques du corps et qu'elles ne soient pas identiques, il faut qu'il y ait dans l'etat de ces régions une différence, qui est due, en général, à une cause pathologique.

La courbe des minima relatifs doit différer suivant les différentes régions du corps, mais nous ne possédons aucune donnée à ce sujet.

Pour obtenir le minimum absolu, il faut que la force électromotrice soit suffisante : cela varie suivant l'individu et probablement aussi suivant les conditions dans lesquelles il se trouve. C'est ainsi que dans certains cas de maladie de Basedow 20 volts suffisaient pour l'atteindre, alors que 50 volts chez d'autres personnes ne le permettaient pas.

Il en est de même pour le temps de chute de la résistance ; suivant la force électromotrice employée d'emblée, suivant les régions, suivant un certain ensemble complexe de circonstances favorables ou défavorables, le minimum absolu s'obtient en quelques minutes ou en un laps de temps plus considérable.

Enfin, le minimum absolu peut être différent pour deux portions symétriques du corps, ou, s'il est le même, c'est le temps nécessaire pour l'obtenir qui sera différent.

Pour reconnaître que la résistance a atteint le minimum absolu,

il faut connaître les valeurs successives des minima relatifs. Si l'on trace la courbe de ces minima, l'abscisse et l'ordonnée qui correspondent au point où elle devient sensiblement parallèle à l'axe des x indiquent la valeur de ce minimum et la force électromotrice nécessaire pour l'obtenir. D'après la forme de cette courbe, on peut juger si le minimum absolu est atteint ou seulement approché, ou si on en est encore loin. Si l'on se contente de dresser un tableau synoptique, il ne suffit pas de déterminer la différence absolue entre les deux derniers minima relatifs, mais de la comparer aux différences qui précèdent : car elle pourrait être faible, 100 ohms, sans que pour cela le minimum absolu soit atteint. En général, quand on trouve successivement plusieurs différences seulement de 50 à 100 ohms, on est bien près du minimum absolu. Martius a indiqué une règle que Kahler a appliquée. Si l'on diminue la force électromotrice, et qu'on la ramène à sa valeur initiale, la résistance remonte : si cette augmentation est moindre que 500 ohms, c'est que le minimum absolu avait été obtenu ; moindre que 800 ohms, simplement approché.

Kahler ne nous dit pas en combien de temps la résistance remontait ; ceci nous aurait permis de comparer ses résultats avec ceux de Stintzing et Graeber qui admettent que les renversements de courant et les interruptions momentanées n'ont aucune influence sur le minimum absolu ; qu'une interruption même d'une 1/2 heure le fait peu varier, et qu'il faut plusieurs heures pour que la résistance initiale se rétablisse. Silva et Pescarolo disent que le passage d'un courant fourni par un seul élément suffit à maintenir constant, pendant un certain temps, un minimum de résistance. Dubois a trouvé qu'en diminuant successivement la force électromotrice de la pile, la résistance remonte, mais reste toujours au-dessous des valeurs qu'elle avait en descendant pour les mêmes forces électromotrices.

On voit donc que, si l'étude de la diminution de résistance

par le passage du courant continu, chez un individu sain, est presque achevée, il reste encore quelques points à élucider.

Il est important, pour l'électrodiagnostic, de savoir si les fermetures rapides déterminent une diminution de résistance. Les fermetures instantanées, et séparées par un certain intervalle de temps n'auraient pas d'action ; mais pour peu qu'elles durent plusieurs secondes, et qu'elles se suivent d'assez près, elles agissent comme le courant continu qui passerait pendant la somme de temps de fermeture et pourrait produire alors une diminution notable de résistance, et une augmentation apparente d'excitabilité.

Tel est l'avis de Silva et Pescarolo, en contradiction avec les expériences de Stintzing et Graeber, qui ont nettement observé une diminution de résistance, et ont même obtenu des minima relatifs avec de courtes fermetures analogues à celles qu'on emploie pour l'électrodiagnostic. C'est encore là un point sur lequel tout le monde peut avoir raison ; il ne peut y avoir certitude sur les résultats qu'en sachant, par des mesures faites avec les appareils précis mis au service de la science expérimentale, quelle est la valeur exacte de la somme des durées de fermeture et d'ouverture du courant, et la diminution de résistance qui en est résultée.

Nous verrons plus loin, à propos des causes qui font varier la résistance, l'influence des renversements du courant.

2° Courants alternatifs. — On sait qu'on emploie fréquemment, en électrothérapie, les courants induits ; de plus, l'emploi des courants alternatifs, de basse et haute tension, tend à se répandre chaque jour davantage dans l'industrie électrique. Il est donc intéressant, à bien des points de vue, de savoir comment se comporte la résistance du corps humain vis-à-vis de pareils courants.

Les courants d'induction, ou faradiques, ne sont que des courants alternatifs particuliers, dans lesquels la quantité d'élec-

tricité est la même dans les deux sens, mais les forces électromotrices maxima et les durées du courant direct et du courant inverse, sont différentes. Il est donc rationnel d'exécuter des mesures avec des dynamos à courants alternatifs, dont on peut connaître exactement les constantes plutôt que d'employer des appareils d'induction, expériences où l'on se borne généralement à mesurer la distance des bobines, et quelquefois le nombre des éléments du circuit primaire. Nous ne voulons pas dire par là qu'il ne soit pas nécessaire de connaître l'influence des courants induits des appareils médicaux, mais, débuter par eux, c'est aborder le problème par le point le plus escarpé.

Kundt et Kohlrausch, à la demande de Jolly, ont fait des mesures par la méthode du pont de Wheatstone; à la place du galvanomètre se trouvait, soit un téléphone, soit un électrodynamomètre. Les expériences donnèrent, pour les résistances initiales, des valeurs bien inférieures à celles qu'avait trouvées Jolly avec le courant continu : elles varient entre 4,800 à 8,000 unités Siemens.

La première question qui se pose est de savoir si les modifications de la résistance, provoquées par le passage des courants alternatifs, obéissent à des lois identiques à celles que nous avons trouvées pour les courants continus.

Swinburne a mesuré la résistance sur cinq individus, entre les deux mains, en faisant passer, soit des courants continus, soit des courants alternatifs, fournis par des dynamos. Il calculait la résistance en mesurant l'intensité par un galvanomètre spécial, et la force électromotrice par un voltmètre industriel. Pour un courant continu d'une force électromotrice de 50 volts, avec des électrodes ordinaires dans les mains humides, les résistances individuelles ont été comprises entre 1,000 et 3,000 ohms (il est probable que le minimum absolu était atteint, et les résultats concordent avec ceux de Kahler). Pour des courants alternatifs de force électromotrice égale à 18 volts, les résistances indivi-

duelles ont été comprises entre 620 et 1,300 ohms. Dans un cas où la force électromotrice fut de 10 et 18 volts, la résistance fut 1,330 et 1,100 ohms; dans un autre, aux forces électromotrices de 18 volts et 54 volts, correspondirent des résistances de 750 et 670 ohms; on voit donc qu'il est fort possible qu'il y ait des minima relatifs et un minimum absolu pour les courants alternatifs comme pour le courant continu.

Lawrence et Harries ont fait quelques expériences dans les mêmes conditions, mais ne donnent que des moyennes: pour un courant continu entretenu par une force électromotrice de 100 volts, et deux électrodes de 45 centim. carrés chacune, ils trouvent une résistance de 6,250 ohms; pour un courant alternatif, d'une force électromotrice de 100 volts et à 65 alternances par seconde, une résistance d'environ 4,000 ohms: ce chiffre correspond assez exactement à celui qu'a trouvé un autre électricien, Blathy, mais est bien plus fort que ceux de Swinburne. Telles sont les expériences, faites à notre connaissance, avec les courants des dynamos. Elles sont importantes parce qu'elles montrent que les courants alternatifs très intenses abaissent la résistance autant que les courants continus; elles permettraient encore de calculer l'énergie absorbée par le corps humain traversé par des courants alternatifs.

Les recherches faites avec les courants faradiques sont plus nombreuses. Frey et Windscheid ont obtenu des nombres très faibles, entre 500 et 1,000 ohms, avec des courants d'induction; ils se servaient d'un pont de Wheatstone à résistances liquides dépourvues de self-induction et de polarisation, la surface des électrodes était de 25 centim. carrés. La conclusion de leur travail est que la résistance, mesurée avec les courants d'induction, est une quantité absolument constante : non seulement elle ne varie pas par le passage de courants faradiques, mais même, mesurée au moyen de ces courants, après l'action d'un courant continu d'une

intensité moyenne, sa valeur finale est identique à sa valeur initiale.

Ce dernier résultat nous paraît peu explicable. Il est fort possible que les courants d'induction, suffisants pour mesurer une résistance avec le pont à téléphone, soient incapables de déterminer une diminution sensible de résistance. Mais que l'amélioration du pouvoir conducteur, due au courant continu, ne puisse être constatée avec des courants induits, ce serait contraire aux lois physiques.

Les expériences de Stintzing et Graeber conduisent à des résultats différents : les faibles et moyens courants ne produiraient aucune action sur la résistance ; les forts courants (c'est-à-dire ceux qui étaient fournis par leur appareil lorsque les bobines étaient aussi près que le permettait la sensibilité du patient), diminueraient la résistance, mais seraient loin de lui faire atteindre le minimum absolu. Les moindres valeurs obtenues sont environ 30,000 ohms.

Jolly et Gaertner ont aussi remarqué que les forts courants d'induction diminuent la résistance, tandis que pour Silva et Pescarolo la faradisation ne produit rien.

Cette divergence d'opinions ne doit pas nous étonner : tous les courants faradiques sont loin de se ressembler, comme quantité et comme tension. Il ne suffit pas pour pouvoir comparer des résultats de cette nature, de savoir vaguement que le sujet soumis à la faradisation trouve que le courant est fort ou faible: il faudrait avoir des données autrement précises; mais, malheureusement, les appareils faradiques ne permettent que très difficilement de calculer ou mesurer les constantes des courants qu'ils produisent.

III.

CAUSES DES VARIATIONS DE RÉSISTANCE, DUES AU COURANT.

1° SIÈGE DE LA RÉSISTANCE PRINCIPALE. — Nous venons de voir combien la résistance électrique du corps humain est variable. Quel est celui des tissus traversés qui présente la plus grande résistance ? En nous appuyant sur les données de l'histologie et en remarquant que la conductibilité des tissus est d'autant meilleure qu'ils sont plus riches en liquides, la première hypothèse qui se présente à l'esprit est que l'épiderme offre la plus grande résistance. Mais comme la résistance des tissus interposés entre les deux surfaces épidermiques d'entrée et de sortie du courant peut, malgré une meilleure conductibilité que celle de l'épiderme, être plus considérable parce que la longueur traversée est plus grande, il est nécessaire de demander à l'expérience la confirmation de cette hypothèse.

La méthode qui est la plus simple, et que tous les auteurs ont reprise les uns après les autres, est de débarrasser le derme de sa couche épidermique, et de mesurer la résistance avant et après l'application d'un vésicatoire.

Kahler a observé une série de minima relatifs chez le même individu, avant et après avoir enlevé l'épiderme par ce moyen ; dans le deuxième cas, les minima sont plus rapprochés entre eux que dans le premier et ont aussi des valeurs bien moindres. C'est ainsi que Runge a trouvé la résistance épidermique double de celle offerte par le reste du corps. La résistance de la peau serait par centimètre carré, d'environ 123,000 ohms pour Gaertner, de 40,000 ohms pour Jolly, aux avant-bras ; et pour ce dernier auteur, elle serait égale à 150 fois celle du reste du corps interposé, si l'on prend des électrodes de 4 centim. carrés.

S'il est vrai que la résistance de la peau prime celle des tissus

profonds, une vérification facile à faire est de chercher l'influence de la surface des électrodes sur la résistance totale. Pouillet le premier montra qu'il suffit de plonger un, deux, trois doigts, etc., dans du mercure pour voir l'intensité du courant augmenter. C'est ce que plusieurs autres expérimentateurs ont vérifié, mais tandis que Frey et Windscheid ont conclu, de leurs mesures faites avec les courants alternatifs, que la résistance est inversement proportionnelle à la surface des électrodes, Silva et Pescarolo n'ont trouvé aucun rapport mathématique entre ces deux quantités. Lawrence et Harries ont fait, à ce sujet, des expériences assez variées : en résumé, pour une force électromotrice de 104 volts et des surfaces successivement de 90 centim. carrés ; 45 centim. carrés ; 22,5 centim. carrés ; 9 centim. carrés, les résistances ont été de 10,400 ; 16,777 ; 18,909 et 24,186 ohms. Il est en effet probable que, si la résistance des parties profondes disparaît devant la résistance de la peau quand celle-ci est encore mauvaise conductrice, elle n'est plus négligeable quand le tissu cutané possède son maximum de conductibilité.

Du moment que nous savons que la majeure partie de la résistance est due au tissu cutané, le simple raisonnement confirmé par les expériences, indique que la diminution de résistance, produite par le passage du courant, a son siège dans les couches superficielles, au voisinage des électrodes : on ne conçoit guère que les parties profondes puissent offrir une conductibilité qui devienne jusqu'à 100 fois meilleure. Plusieurs expérimentateurs ont en effet montré que la diminution de résistance ne se fait bien sur le cadavre que si l'épiderme existe.

Quand un courant passe, ainsi que nous l'avons dit, il produit une série d'actions dont les unes sont identiques à celles qui se produiraient dans un corps poreux imbibé d'un électrolyte : échauffement, décomposition chimique, cataphorèse ; les autres sont propres à l'organisme vivant : action sur le système vasculaire, production de sueur. C'est ce même ordre que nous sui-

vrons, pour exposer les travaux originaux sur ces points particuliers.

2° Actions calorifiques. — L'énergie électrique se transforme en partie en énergie calorifique ; comme les dissolutions salines ont une conductibilité qui devient meilleure lorsque la température s'élève, et Boll a vérifié qu'il en était de même pour les tissus organiques, l'action calorifique du courant doit donc diminuer la résistance, mais pas assez pour lui faire atteindre les faibles valeurs observées.

3° Actions chimiques. — En même temps que l'action calorifique se produisent aussi des effets chimiques : comme lès forces électromotrices employées sont toujours assez élevées, il est impossible qu'il n'y ait pas des phénomènes d'électrolyse. Les produits de la décomposition se dégagent, radicaux acides, à l'électrode positive, et métaux (ou bases, puisque les métaux alcalins de l'organisme réagissent ensuite sur les liquides) à l'électrode négative. Quant aux décompositions qui peuvent se faire dans les parties profondes, c'est ce qu'on ignore. Les actions chimiques sont les seules qui tendent à augmenter la résistance, puisqu'elles entretiennent une force électromotrice de polarisation, qui diminue l'intensité du courant. Mais, si nous savons que bien des observateurs ont constaté des phénomènes de polarisation consécutifs à la galvanisation, si l'on a même cité des chiffres, nous ne connaissons pas de travail sur la mesure de la polarisation, pendant l'électrisation du corps humain : la résolution de ce problème permettrait de se rendre compte de la transformation d'énergie actuelle en énergie potentielle chimique que subit l'énergie électrique en passant dans le corps humain.

4° Actions cataphoriques. — Viennent ensuite les actions dites cataphoriques. Sous l'influence du courant il se produit des phénomènes d'osmose partout où il existe des liquides imbibant des pores capillaires : c'est dire qu'il doit y avoir des actions endosmotiques sur toute la longueur du circuit humain. Mais leur

importance sera plus considérable aux faces d'entrée et de sortie du courant : à l'électrode positive, si elle est humide, le courant introduira dans les pores de la peau le liquide qui imbibe l'enveloppe de l'anode ; à l'électrode négative, il se fera un transport des liquides de l'organisme de l'intérieur vers l'extérieur. Il y aura une imbibition des couches épidermiques plus parfaite que celle qui succède à un simple lavage avec des dissolutions conductrices ; et dans le premier cas, une diminution de la résistance plus accentuée que dans le second : c'est ce que Gaertner et Jolly ont constaté. Mais Silva et Pescarolo prétendent qu'en appliquant une compresse imbibée d'une dissolution de potasse à 10 % pendant 15 minutes, ils ont constaté une diminution bien plus considérable de la résistance que par le simple passage du courant.

C'est Munk qui a expliqué le premier les variations de la résistance du corps humain par la cataphorèse. Un moyen de constater ces phénomènes est d'employer des électrodes inégales et de regarder ce que devient la résistance quand on renverse le courant. D'après Martius, Kahler, Silva et Pescarolo, la diminution de résistance se fait plus vite, et mieux à l'anode. Si on admet que la résistance par unité de surface est plus faible à l'anode qu'à la cathode, un simple calcul [1] montre qu'il doit y avoir

[1] Soient Ra. la résistance finale par centim. carré de surface de peau à l'anode ; Rc, à la cathode ; soient S la grande électrode, s la petite. Admettons que d'abord l'anode soit la petite électrode, et que la cathode soit l'autre : la résistance aux deux faces de la peau est :

$$\frac{Ra}{s}+\frac{Rc}{S}$$

Renversons le courant ; la résistance devient :

$$\frac{Ra}{S}+\frac{Rc}{s}$$

Si elle a augmenté on a

$$\frac{Ra}{S}+\frac{Rc}{s}-\left(\frac{Ra}{s}+\frac{Rc}{S}\right)>0.$$

La condition est que :

$$Rc > Ra.$$

augmentation de résistance quand, après renversement du courant, le pôle positif correspond à la grande électrode et le pôle négatif à la petite ; il y aurait diminution dans le cas contraire. Or, Silva et Pescarolo disent que la résistance *diminue*, si, après renversement du courant, le pôle positif correspond à la plus grande des deux électrodes, et le pôle négatif à la plus petite. Il y a donc là une contradiction.

Ce n'est pas la seule preuve en faveur de l'influence des actions cataphoriques. Du moment que nous avons affaire à un phénomène tout physique, il doit se produire sur le cadavre comme sur le vivant ; et même si l'épiderme est enlevé, on doit constater une légère diminution ; Gaertner, Stintzing et Graeber, Dubois, Silva et Pescarolo ont en effet observé une diminution bien nette sur le cadavre ; mais les uns l'ont trouvée moins considérable que sur le vivant, tandis que les deux expérimentateurs italiens ont pu obtenir une résistance aussi faible que celle que présente d'habitude une personne vivante, et ce résultat les amène à conclure que les actions vasculaires, auxquelles Vigouroux donne la plus grande importance, n'ont aucune influence pour améliorer la conductibilité du tissu cutané ou des parties profondes.

Nous pouvons admettre avec certitude que les actions calorifiques et cataphoriques diminuent la résistance. Mais, seules, sont-elles suffisantes pour expliquer les variations considérables que l'on observe ? Certains auteurs, entre autres Gaertner, admettent que les autres causes, dont nous allons parler maintenant, doivent être écartées : il s'appuie sur le résultat d'une de ses expériences : il a observé que la diminution de résistance se produit sur le cadavre intact, mais si l'on enlève l'épiderme la résistance ne diminue plus, tandis qu'on peut au contraire augmenter la conductibilité de l'épiderme séparé. Une expérience contradictoire a été faite par Stintzing et Graeber, qui ont observé une diminution de résistance, même sur le cadavre sans épiderme. Mais, comme dit Jolly, de ce qu'il y a actions cataphoriques, on ne peut pas

conclure qu'il n'y a pas d'actions vasculaires et sudorifiques, puisqu'elles peuvent parfaitement coexister.

Du reste, il existe un moyen d'éliminer ou de diminuer les actions cataphoriques et électrolytiques : c'est d'employer les courants alternatifs ; nous ne pourrons éviter l'action calorifique, mais il est probable qu'on peut négliger son influence. Dans ces circonstances, nous voyons une diminution de la résistance initiale sur le vivant, mais non sur le cadavre (Stintzing et Graeber).

Les actions dont nous nous sommes occupé jusqu'à présent ne sont donc pas les seules ; il en existe d'autres, dont l'importance doit être considérable ; deux d'entre elles viennent en première ligne : les actions du courant sur le système vasculaire, et les actions sudorifiques.

5° Actions vaso-motrices. — Sous l'influence du courant électrique continu, les fibres musculaires lisses des vaisseaux sanguins se relâchent : il y a un afflux de sang plus considérable. Pourtant Silva et Pescarolo ont remarqué qu'en prenant deux fois de suite la résistance d'une même région, mais en déplaçant les électrodes de quelques centimètres, le chiffre obtenu la seconde fois était supérieur à celui qu'on avait trouvé d'abord. Ce résultat peut s'expliquer par le fait suivant, qu'ils ont observé maintes fois, soit dans la maladie de Basedow, soit à l'état normal : la galvanisation du sympathique au moyen d'un courant constant faible de moins d'un milliampère, en employant le pôle négatif comme électrode active, produit une diminution de la résistance plus lente, une valeur initiale et une valeur finale plus élevées par suite de la contraction des fibres musculaires lisses. Cette action sur les vaso-moteurs serait l'explication des résultats heureux obtenus par la galvanisation du sympathique dans la maladie de Basedow, et ferait comprendre le calme apporté aux troubles cardiaques.

L'hyperémie consécutive à l'action du courant continu est

acceptée par tous les expérimentateurs qui ont étudié la diminution de résistance électrique. Mais il y a divergence d'opinions sur la relation qui lie ces deux phénomènes. L'idée qui se présente le plus naturellement à l'esprit est que le réseau vasculaire constitue un ensemble de circuits ininterrompus, que l'électricité peut parcourir sans obstacle, et que l'accroissement de section des conducteurs sanguins doit correspondre à une diminution de résistance. Il est nécessaire de demander à l'expérience la confirmation de cette hypothèse.

Vigouroux admet que les variations de résistance sont dues aux changements de volume qu'éprouve la masse sanguine de la région électrisée, et que le réseau vasculaire joue le rôle que nous avons indiqué. Comme les variations de section des vaisseaux dépendent de l'état de contraction ou de relâchement des muscles vaso-moteurs, il admet que la mesure de la résistance permet de se rendre compte de la manière dont réagissent les vaso-moteurs au passage du courant électrique : elle en serait, dit-il, le meilleur réactif.

Il s'appuie sur les faits pathologiques que nous verrons plus loin, et sur l'expérience suivante : On place deux électrodes égales, l'une sur la face palmaire du bras droit, l'autre sur la face dorsale du bras gauche, et l'on caractérise la résistance par l'intensité d'un courant que fournit une pile constante ; on répète la même mesure, en prenant la face palmaire du bras gauche et la face dorsale du bras droit, et l'on trouve la même intensité. On met ensuite les deux électrodes en regard sur le même avant-bras, et l'on trouve une résistance, non pas moindre, mais au contraire plus considérable, bien que la longueur des tissus intercalés soit plus faible : c'est que, dans le premier cas, les vaisseaux sanguins peuvent condenser les lignes de force, et l'énergie absorbée est moindre dans le cas où le courant peut suivre les colonnes liquides. Il nous semble qu'il serait possible de mesurer la résistance entre deux points de l'avant-bras

également et suffisamment éloignés, d'abord perpendiculairement à une grosse veine sous-cutanée, puis sur le trajet même de la veine.

Eulenburg, à la suite d'un travail expérimental sur la maladie de Basedow, est aussi conduit à admettre que l'état de réplétion des vaisseaux sanguins, aussi bien profonds que superficiels, fait varier la conductibilité du corps humain dans un même rapport. Dupuy a montré, en 1874, que dans l'électrisation du cerveau, le courant pénètre par les vaisseaux dans la masse cérébrale.

Un autre moyen consiste à déterminer une hyperémie préalable, soit par un rubéfiant, soit par la paralysie directe des vaso-constricteurs succédant à la section du grand sympathique. Jolly a vérifié, après d'autres observateurs, que la diminution de résistance est grande en une région sur laquelle on a appliqué un rubéfiant, par exemple de la moutarde. Mais, à rougeur égale, cette diminution n'est pas aussi forte que celle que provoque le passage du courant constant, puisque la galvanisation ajoute d'autres actions à l'hyperémie.

Le nitrite d'amyle en inhalation jouit de la propriété de déterminer, à la face seulement, une dilatation des vaisseaux sanguins par simple relâchement des fibres musculaires lisses. Jolly a observé, chez un individu qui avait respiré quelques gouttes de nitrite d'amyle, une importante diminution de résistance à la face ; mais la résistance n'avait pas varié dans les autres régions, puisque le nitrite d'amyle a une action élective sur le système vasculaire de la tête. Ce résultat est donc absolument conforme à celui qu'on pouvait attendre.

Dubois admet, lui aussi, que l'hyperémie intervient dans une certaine mesure, pour avoir observé, dans quelques cas d'hémiplégie, une moindre résistance du côté sain coïncider avec un érythème très marqué à la place de l'électrode, quand ce fait ne se présentait pas de l'autre côté.

Mais d'autres expériences sont en désaccord complet avec les

précédentes. Silva et Pascarolo n'ont, paraît-il, constaté aucune diminution par la rubéfaction produite, soit avec le nitrite d'amyle, soit avec la faradisation; au contraire, ils auraient observé une diminution après des pulvérisations de chlorure de méthyle, sur des parties refroidies et anémiées.

Dans les congestions intenses des périodes d'éruption des fièvres éruptives, il y a justement eu augmentation ; enfin l'atropine, qui produit d'abord la sécheresse de la peau par constriction des vaisseaux, n'a aucune action sur la résistance; enfin, si on comprime la peau avec les électrodes, il y a diminution de résistance, bien qu'il y ait anémie des parties comprimées: bref, on voit que les auteurs italiens ont trouvé, dans chaque cas, le contraire de ce qu'indiquait le raisonnement.

Kahler a institué des expériences en produisant directement une hyperémie ; par section du sympathique et de l'auriculaire du lapin, il déterminait un afflux de sang considérable dans l'oreille de cet animal ; puis en mesurait la résistance, après l'avoir rasée et épilée avec du sulfure de calcium.

Il pouvait même avoir le maximum d'anémie en saignant l'animal. Or, dans ces conditions, la résistance présenta, comme chez l'homme, une série de minima relatifs, mais, en prenant plusieurs séries, il ne vit aucune différence sensible, malgré les variations considérables de la masse sanguine. Le résultat fut négatif avec le nitrite d'amyle. La conclusion que donne Kahler est que l'anémie ou l'hyperémie n'a aucune action sur la résistance de l'oreille du lapin ; malgré la différence de structure entre cet organe et le corps humain, la vascularisation doit produire le même effet dans les deux cas. Mais il y a une objection à faire: l'oreille était pincée entre les deux électrodes; comme nous l'avons dit, les vaisseaux ne peuvent servir de conducteurs ininterrompus et n'ont par conséquent d'action notable que lorsque le courant leur est parallèle; dans cette expérience, le courant

abordait les vaisseaux perpendiculairement à leur direction générale : l'influence devait être très faible, sinon nulle.

Il n'y a donc que les expériences de Silva et de Pescarolo qui soient nettement opposées à la théorie de Vigouroux ; mais notre impression, d'après l'ensemble de leur travail, est que ces auteurs, du moment qu'ils avaient ou devaient avoir connaissance de tous les travaux faits avant le leur, n'ont pas su se placer dans les meilleures conditions possibles d'expérimentation : ils ont, par exemple, adopté le pont de Wheatstone, en se servant d'un courant de mesure d'une force électromotrice de plusieurs volts, ce qui modifie la valeur absolue des bobines ; de plus, nous savons que la force électromotrice aux électrodes n'est pas constante. Il eût mieux valu adopter la méthode de mesure de Vigouroux, qui est très simple et très exacte. De sorte que leurs expériences ne paraissent pas avoir une précision telle qu'elles soient décisives et irréfutables.

6° Actions sudorifiques. — Indépendamment de la diminution de la résistance par le simple fait physique que les conducteurs partiels moins résistants acquièrent une plus grande section, il y a encore l'échauffement des couches superficielles, l'imbibition plus facile des tissus, et une production de sueur plus abondante, dus au passage d'une masse de sang plus considérable. Il semble en effet établi que les poussées sudorales améliorent la conductibilité de la peau, surtout de l'épiderme, bien que Vigouroux soit de l'avis absolument contraire, car il admet que la transpiration, marchant de pair avec l'évaporation, provoque le resserrement des petits vaisseaux du derme. Or s'il est vrai que dans certaines excitations des nerfs sudorifiques, dans les cas de sueurs froides on voit apparaître la transpiration sans qu'il y ait dilatation des vaisseaux, le plus souvent il y a relation complète entre la production de sueur et la dilatation du système vasculaire périphérique.

Quel que soit le moyen par lequel on détermine la transpira-

tion, le résultat est toujours le même. Jolly a constaté que la pilocarpine produit une diminution de la résistance. Silva et Pescarolo ont observé le même fait, mais même quand il n'y avait pas sueur : d'après la théorie de Vigouroux, cela pourrait s'expliquer par la congestion intense que provoque cet alcaloïde. L'antipyrine déterminerait aussi une diminution de résistance et en abrégerait le temps de chute en excitant la transpiration ; mais, indépendamment de cette action, elle produirait le même effet en abaissant la température : nous reviendrons sur ce point.

Kahler a, lui aussi, étudié l'action de la pilocarpine. Dans une expérience, il a observé qu'elle détermine des minima relatifs plus bas et plus rapidement atteints que ceux qu'il avait obtenus à l'état normal. Mais à mesure que les forces électromotrices augmentent, les deux courbes se rapprochent et finissent par ne plus être distantes que d'environ 150 ohms.

Kahler a noté, pour chaque individu dont il mesurait la résistance, l'état de la peau. En général, il a toujours trouvé des valeurs initiales faibles, des minima relatifs bas et un minimum absolu facilement atteint chez les individus à peau humide et suant facilement ; tandis que ceux qui avaient la peau sèche ou transpiraient peu présentaient toujours des valeurs relativement élevées, et ceci, quel que soit l'état de maigreur ou d'embonpoint du sujet.

Cardew s'est attaché à démontrer l'influence du degré d'humidité de la peau sur la résistance, en prenant le même individu dans des conditions très différentes. Il employait la loi de Ohm, se servait d'une pile de force électromotrice égale à 6,4 volts et d'un galvanomètre permettant d'apprécier le 0,0001 ampère. (L'erreur possible que nous avons calculée était de 150 ohms pour 8,000). Les électrodes dont il se servait étaient en métal nu, placées l'une sur le sternum, l'autre sur la nuque. Il faisait passer le courant 10 secondes, de sorte que les nombres qu'il donne ne représentent ni des valeurs initiales ni des minima.

La résistance d'un individu, mesurée la nuit, alors qu'il était en état de transpiration sensible au toucher et à la vue, fut trouvée de 2,438 ohms; après exposition à l'air pendant plusieurs minutes, de façon à permettre l'évaporation, elle remonta à 4,700 ohms; enfin, le matin, avec une transpiration insensible, elle atteignit 32,790 ohms. Ces mesures étaient faites dans une atmosphère chaude et humide. Trois expériences, recommencées exactement de la même façon, mais dans un air sec et froid, donnèrent des valeurs plus considérables : environ 3,000, 9,000 et plus de 64,000 ohms. En déterminant chez un sujet une transpiration active par l'ingestion d'alcool chaud, une surcharge de couvertures de laine dans un local chauffé, il obtint une résistance de 1,900 ohms, tandis qu'elle était avant de 80,000. D'autres expériences lui donnèrent toujours des résultats identiques.

Mais toutes ces expériences ne permettent pas d'apprécier exactement quelle est la part de la diminution de résistance qui provient du changement de calibre des vaisseaux et celle qui est due aux variations de conductibilité de l'épiderme mieux imbibé par la sueur, ou les conduits glandulaires plus largement ouverts. Cardew admet, avec R. Remak, E. Remak et Erb, que la résistance du tissu cutané varie en sens inverse du nombre de pores qu'il offre, par unité de surface, en comptant comme pores les conduits des glandes sudoripares, des glandes sébacées et des follicules pileux. Silva et Pescarolo jugent, au contraire, que ce facteur n'intervient absolument pas, du moins en tant que conducteur direct pour l'électricité ; ils citent, à l'appui de leur dire, la paume de la main, qui a 363 glandes sudoripares par centimètre carré, et la joue, qui en a 75 ; et pourtant la paume de la main a une bien plus grande résistance que la joue.

Ces auteurs adoptent, sur les causes de la diminution de résistance, une théorie toute nouvelle qui permet d'expliquer les variations lentes des états pathologiques, mais non les variations

rapides. La résistance varie suivant le degré de kératinisation des cellules épidermiques et le nombre de ces cellules. Contrairement à l'opinion de Drossdoff, la résistance doit être en rapport avec l'épaisseur de l'épiderme, sauf quelques exceptions, par exemple à la face, où la couche épidermique est la même qu'au dos de la main, et offre pourtant une meilleure conductibilité.

Si l'on considère le même point du corps humain, il peut y avoir production rapide des cellules épidermiques, moindre kératinisation, et par suite diminution de la résistance ; au contraire toutes les fois qu'il y aura un ralentissement de la nutrition épidermique, une kératinisation plus considérable, il y aura aussi une augmentation de la résistance. Quelles sont les conditions qui favorisent la vie, le renouvellement des cellules épidermiques? En général, l'état de santé : Ils ont ainsi trouvé chez les individus bien portants, même un peu obèses, des valeurs de la résistance au-dessous de la moyenne ; pour chaque région en particulier, la nutrition de la couche épidermique est en relation avec l'état du système vasculaire : plus la vascularisation est abondante, plus jeune est l'épiderme, moindre est la résistance. C'est ainsi qu'au cou, à la face, la haute conductibilité correspond à une riche irrigation, tandis qu'aux extrémités des membres, mains et pieds, la vascularisation est moindre et la résistance plus grande. Dans les états pathologiques, ce seront ces mêmes causes qui, plus accentuées, détermineront les modifications spéciales de la résistance, soit en des régions limitées, soit sur toute la surface du corps humain. Kahler émet des idées identiques, mais sans y attacher la même importance que Silva et Pescarolo ; il a observé que les maladies graves, avec consomption, déterminent des troubles nutritifs de la peau et que l'augmentation de résistance en est une conséquence très nette.

La dilatation des vaisseaux par le passage du courant a pour conséquences, toujours d'après les auteurs italiens, non seulement le remplissage des espaces capillaires et intercellulaires par des

liquides meilleurs conducteurs, mais encore une imbibition du contenu même des cellules qui se gonflent. Un surcroît d'activité des cellules de la couche de Malpighi en résulte, et la desquamation se fait plus rapidement ; il y a rajeunissement de l'épiderme. Il faudrait aussi admettre que l'excitation des extrémités des nerfs ajouterait une action concomitante. Toutes les substances qui agissent sur l'épiderme, en faisant disparaître la couche cornée, diminuent la résistance. Ce dernier résultat sera donc obtenu avec les sudorifiques pour lesquels l'action vasculaire est suivie d'une desquamation épidermique, tandis que ceux qui agissent simplement sur le système vasculaire ne doivent avoir aucune influence sur la résistance, d'où les effets négatifs qu'ils ont obtenus avec l'alcool, l'atropine ou les émotions.

Cette théorie nous paraît n'avoir, *a priori*, rien qui puisse la faire rejeter, au point de vue des modifications lentes du tissu cutané, car elle ne fait que donner de l'importance à un phénomène physiologique, la nutrition de l'épiderme, qui dépend, en grande partie, de l'état du système vasculaire. Le meilleur moyen de la contrôler serait d'expérimenter sur des maladies de peau, puisqu'on pourrait opérer dans des conditions trés différentes soit au point de vue de la rapidité de desquamation, soit au point de vue de l'état des cellules épidermiques au moment de leur chute. Mais si l'on veut l'appliquer aux rapides modifications de la résistance, elle nous semble moins soutenable. Cependant, pour donner notre avis en toute compétence, il faudrait que nous soyons nous-même en possession de résultats expérimentaux absolument sûrs ; ou tout au moins que nous soyons certain de la validité des conclusions qui nous sont fournies, ce qui n'est pas. Nous voyons, par exemple, que Féré a obtenu des variations de résistance dans des conditions telles que les modifications de l'épiderme sont mises hors de cause. Chez des hystériques à réactions intenses, des excitations sensorielles,

auditives (diapasons), visuelles (verres colorés), olfactives, gustatives ont déterminé des diminutions de résistance par action réflexe sur les vaso-dilatateurs, puisque Féré a constaté une augmentation de volume des membres au plêthysmographe. Dans certains cas d'hystérie avec hémianesthésie, Vigouroux, en déterminant le phénomène de transfert, a observé une diminution de résistance du côté redevenu normal, et une augmentation de l'autre côté. Or, il est indéniable que dans toutes ces expériences les modifications de l'épiderme n'interviennent absolument pas. Si donc la théorie de Silva et Pescarolo est juste en ce qui concerne les troubles de nutrition de la peau et l'influence qu'ils peuvent avoir, elle ne peut expliquer tous les cas de variations de résistance.

En résumé, notre opinion est qu'il faut admettre la coexistence de toutes ces causes, qu'il est aussi difficile de nier les actions cataphoriques que les actions vasculaires et les actions sudorifiques que les actions chimiques. Du reste, à part les actions électrolytiques qui diminuent l'intensité du courant, toutes sont synergiques pour produire la diminution de résistance, et se renforcent mutuellement: ainsi l'échauffement dû au passage du courant détermine lui-même une circulation plus active, indépendamment de l'action du courant sur les fibres musculaires lisses des vaisseaux; les produits de la décomposition chimique provoquent certainement un appel de sang à la périphérie; l'afflux sanguin produit à son tour une sueur plus abondante, peut-être déjà commencée sous l'influence des excitations des fibres nerveuses; la cataphorèse, qui est un phénomène indépendant de la vitalité des cellules de l'organisme, se fait probablement plus facilement lorsque les couches superficielles sont imbibées de liquide. La réelle difficulté est de déterminer la part de chacune et d'expliquer tous les phénomènes contradictoires que nous avons vus relatés. Nous croyons que la résolution de ces divers problèmes est intéressante à plus d'un titre : indépendamment de la ques-

tion de résistance, n'y a-t-il pas à propos des actions cataphoriques et endosmotiques le problème de l'introduction des substances médicamenteuses et de l'extraction des exsudats? A propos des actions électrolytiques, la galvanocaustique chimique et les phénomènes de polarisation interne? Enfin les réactions vasculaires, dégagées des précédentes qui les masquent, ne pourraient-elles pas être le vrai réactif du système vasomoteur? On voit que toutes les questions se tiennent ensemble et que l'électrothérapie ne peut que gagner beaucoup à leur étude. Depuis ces dernières années, la mesure de la résistance dans les divers états pathologiques a été entreprise méthodiquement, soit en France sous l'habile direction du Dr Vigouroux, soit à l'étranger ; et nous allons analyser ces intéressants travaux.

IV.

VARIATIONS DE LA RÉSISTANCE A L'ÉTAT PATHOLOGIQUE.

Ce fut en 1879 que Vigouroux annonça pour la première fois, chez des *hystériques* atteintes d'*hémianesthésie*, une résistance plus grande du côté malade que du côté sain : la différence pouvait atteindre 1,000 à 1,500 unités Siemens, et se remarquait surtout à la tête. Charcot attira l'attention sur la valeur séméiologique de ce symptôme. Estorc, en 1882, reprit la question. Il opéra sur cinq hystériques ou hystéro-épileptiques ; il déterminait la courbe du minimum relatif à douze éléments Leclanché, en notant, non la résistance, mais l'intensité en divisions du galvanomètre. Il obtint ou bien une différence du minimum d'intensité pour les deux côtés, l'intensité la plus forte correspondant au côté sain ; ou bien une différence dans la durée du temps nécessaire pour obtenir le même maximum d'intensité dans chaque côté, avec chute plus lente du côté malade. Comme Vigouroux l'avait montré, un transfert produisait aussi

une augmentation de résistance dans le côté anesthésié. Avec l'hyperesthésie coïncidait une diminution. Dès le commencement, Vigouroux l'attribua à un trouble vasculaire. En 1888, le savant praticien revient sur ce sujet : ce symptôme s'est vu même chez des hystériques sans hémianesthésie, et acquiert ainsi encore une plus grande valeur séméiologique.

Silva et Pescarolo (1889) ont observé dans un cas d'hystérie une très grande résistance (Anode = 72 centim. carrés au sternum ; cathode = 9,5 centim. carrés à l'avant-bras), 198,000 ohms, qui descendit à 8,159 ohms pour 12 volts. Après guérison, le même minimum relatif fut 3,200 ohms. Dans le cours de la maladie, la pilocarpine abaissa la résistance même au-dessous de la valeur obtenue après la guérison. Dans quelques cas d'hémianesthésie hystérique, ils observèrent des différences de résistance entre les deux côtés ; tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Ils expliquent ce fait en admettant que les actions vasomotrices et concomitantes peuvent déterminer des modifications dans la production de la couche cornée de l'épiderme.

Dubois, en 1887, appelle l'attention sur l'augmentation de résistance dans l'*hémiplégie* avec refroidissement des extrémités. Il trouva, dans un cas, que la résistance du bras atteint était sept fois plus forte que celle du côté sain. Silva et Pescarolo ont observé quelquefois, dans l'hémiplégie de cause cérébrale, une légère augmentation de résistance du côté malade; d'autres fois, malgré des troubles vasomoteurs accentués, il n'y eut aucune différence.

Boccolari et Borsari (1889) ont examiné 13 cas d'épilepsie. Ils effectuaient la mesure de la résistance d'après la loi de Ohm, mais ils régularisaient l'intensité du courant, en faisant varier la force électromotrice : nous avons déjà dit qu'il vaut mieux garder la f. e. m. constante. En général, la résistance absolue est notablement au-dessus de la normale ; pendant un accès, elle est à peine inférieure à celle qui existe entre les accès. Silva et

Pescarolo n'ont observé aucune différence d'avec la normale, chez les épileptiques, avant, pendant ou après l'accès.

Toujours par la même méthode, Boccolari et Borsari ont étudié la résistance dans la paralysie générale (13 sujets) ; ils l'ont trouvée au-dessus de la normale ; à la tête, elle dépassait 2,000 ohms et arrivait même à 4,000.

Dans l'*atrophie progressive myopathique*, Silva et Pescarolo n'ont rien observé de particulier ; tandis que Frey et Windscheid ont trouvé une augmentation de résistance dans l'*atrophie musculaire*. Les expérimentateurs italiens n'ont obtenu que des résultats négatifs dans la *neurasthénie*.

Dans la *paralysie spinale* récente, Vigouroux a noté une augmentation considérable de résistance ; si elle est ancienne, il y a au contraire diminution par stase sanguine.

Nous arrivons à la *maladie de Basedow*. Parmi un des symptômes secondaires dans cet état pathologique, se trouve une diminution considérable de la résistance, signalée pour la première fois par Vigouroux, symptôme auquel Charcot attache assez d'importance, en 1885, pour le mettre presque au rang des signes cardinaux de cette affection. C'est à propos de la valeur séméiologique de la résistance électrique dans cette maladie, que les travaux les plus importants sur la mesure de cette quantité ont été exécutés ; et les recherches faites dans cette direction n'ont pas été sans influence sur l'introduction, dans l'électrothérapie, des unités de mesure et des termes adoptés par les électriciens.

En 1888, Vigouroux a publié la méthode qu'il emploie pour mesurer la résistance à la Salpêtrière : par une disposition spéciale, le même galvanomètre permet de connaître l'intensité et la force électromotrice aux électrodes, de sorte que la mesure de ces deux quantités peut se faire en quelques secondes, au cours d'une séance de traitement. On calcule ensuite la résistance. Les deux électrodes sont rondes, en charbon, recouvertes de peau de

chamois : par suite, elles ne sont pas impolarisables. L'anode (12 centim. carrés) est placée sur le sternum, la cathode (28 centim. carrés) au-dessous de l'apophyse de la septième vertèbre cervicale. Le courant passe une minute : on ne mesure donc ni résistance initiale, ni minimum relatif, ni minimum absolu ; dans ces circonstances, Vigouroux a constaté une diminution de la résistance dans tous les cas de maladie de Basedow, aussi bien dans les formes caractérisées que dans les formes frustes. Cette diminution n'est pas localisée dans une région du corps, elle est générale ; elle atteint le quart ou le cinquième de la valeur de la résistance chez un individu sain. Si la maladie de Basedow est associée à une autre affection qui s'accompagne d'une augmentation de résistance, telle que l'hystérie, « la résistance suit la loi de l'affection prédominante ».

Vigouroux explique même par la diminution de résistance chez les malades de cette catégorie, l'intolérance qu'ils présentent à la franklinisation : ils pourraient acquérir une charge électrique plus considérable. Le savant praticien fonde sa théorie sur le fait que l'électricité à haut potentiel agit facilement sur les malades atteints de goître exophtalmique, tandis qu'elle a peu d'action sur les hystériques, qui présentent une moindre conductibilité. Ce phénomène, qui serait contraire aux lois de la capacité électrique s'il consistait en une simple accumulation d'électricité sur le corps humain agissant comme un conducteur ordinaire, doit probablement trouver son explication dans quelqu'autre cause : cette vérification demanderait des expériences précises.

Ainsi que nous l'avons vu, Vigouroux explique cette particularité de la résistance par l'état du système vasomoteur.

La Seta et Silva admettent les idées de notre savant compatriote. Martius a observé cinq cas de maladie de Basedow. Les résultats auxquels il est arrivé sont les suivants : les minima absolus qu'il a trouvés chez ces individus ne différaient pas sensiblement des minima qu'offraient certaines personnes saines, mais

à peau fine; il n'y a donc pas à tenir compte du minimum absolu, au point de vue du diagnostic différentiel; par contre, les minima relatifs sont plus bas, et le minimum absolu s'obtient avec une moindre force électromotrice ; la chute de la résistance ne diffère pas de celle qui fut observée chez quelques personnes saines; Martius conclut que la mesure de la résistance ne fournit pas un signe caractéristique de la maladie de Basedow.

La même année (1887), Eulenburg a examiné cinq individus atteints de goître exophtalmique. Comme Martius, il trouve des minima relatifs plus bas, plus rapidement atteints que ceux que les forces électromotrices correspondantes déterminent à l'état normal. Il ne l'a constaté que quatre fois, le dernier cas étant un individu, chez qui l'hysterie était greffée sur la maladie de Basedow. Eulenburg se rallie en partie à la théorie de Vigouroux, mais il émet l'objection que c'est peut-être la transpiration, active dans cette affection, qui donne à la résistance une moindre valeur.

Kahler, en 1888, publie les recherches qu'il a faites dans la maladie de Basedow. Nous avons indiqué plus haut la méthode de mesure dont il s'est servi. Il exprime les valeurs trouvées en unités Siemens, mais il n'a pas tenu compte de la résistance des électrodes : pour avoir la valeur vraie en ohms, il suffit de retrancher environ 150 des résultats qu'il donne. Les expériences portèrent sur 37 sujets, dont 6 atteints de goître exophtalmique. Les autres furent choisis de manière à présenter une série de types différents, comme sexe, âge, force, etc., et chez tous les mesures furent répétées plusieurs fois. Il notait toute la série des minima relatifs, depuis celui qui était atteint avec la moindre force électro-motrice, jusqu'à celui que provoquait l'emploi des 40 éléments Sthörer (50 volts) dont il disposait. Il nous donne les valeurs de ces minima, mais ne nous indique pas le temps nécessaire pour passer de l'un à l'autre ce qui serait intéressant.

Nous avons représenté sur la planche cinq courbes des minima relatifs, d'après le nombre que donne Kahler : trois sont relati-

ves à des individus à l'état normal ; les deux autres fournies par des sujets atteints de maladie de Basedow : cette figure résume toutes les conclusions qui suivent.

Les plus hauts minima, relatifs ou absolus, sont fournis par des individus, bien bâtis ou faibles de constitution, à muscles développés ou atrophiés, à peau fine ou épaisse, avec ou sans anémie, mais qui ont un caractère commun, une peau sèche. Au contraire, les individus à peau humide, ou transpirant facilement offrent des minima relatifs et absolus peu élevés ; entre ces deux extrêmes se trouvent toute une série d'intermédiaires.

Les individus atteints de la maladie de Basedow se distinguent des personnes saines par une résistance, qui, mesurée avec les moindres forces électromotrices est déjà très faible. Mais si l'on considère le minimum absolu, la différence est moins tranchée. Un individu à l'état normal peut avoir un minimum absolu qui s'approche de ceux qu'on observe chez les sujets atteints du goître ; mais « un minimum absolu de 700 à 850 unités Siemens, ne peut se rencontrer que dans un cas de maladie de Basedow ». Ceci ne veut pas dire que le minimum absolu doive forcément avoir cette valeur ; il peut être aussi élevé qu'à l'état normal.

Il faut, en général, dans la maladie de Basedow une bien moindre force électromotrice pour obtenir le minimum absolu de résistance, mais ce n'est pas là non plus une particularité constante.

Déjà pour une force électromotrice de 5 volts, les minima relatifs sont extrêmement bas, et ceci constitue une propriété de la résistance, spéciale à la maladie de Basedow. Tous ces résultats sont en concordance parfaite avec ceux de Vigouroux. Ce travail nous permet de comprendre quelle est la meilleure méthode de mesure à adopter. Si l'on ne veut pas s'astreindre à mesurer tous les minima relatifs, il faut chercher la résistance avec la plus petite force électromotrice possible, puisque la différence entre le minimum relatif à l'état normal et le minimum relatif dans

cet état pathologique est d'autant plus faible que la force électromotrice est plus considérable.

Mais cette particularité a-t-elle une plus grande valeur séméiologique que les autres symptômes spéciaux à cette névrose? — Kahler penche pour la négative, d'après ses études cliniques; mais de ce que ce signe n'est pas pathognomonique, il n'en est pas moins très important pour l'électro-diagnostic.

Kahler n'adopte pas la théorie de Vigouroux, pour l'explication de la faible résistance dans la maladie de Basedow.

De ce que, dans la courbe des minima relatifs pour la maladie de Basedow, la chute initiale manque généralement, il conclut qu'il n'y a pas une action du courant sur les vaso-moteurs assez forte pour déterminer la diminution de résistance, mais que l'individu se trouve dès le commencement dans les conditions favorables pour le passage du courant; de plus, il est amené à cette explication par les expériences que nous avons citées. Il accorde la plus grande importance à un état particulier de la peau qui permettrait mieux la cataphorèse, et surtout à la transpiration cutanée, qu'elle soit sensible ou insensible, c'est-à-dire une simple perspiration. Cardew (1891) est absolument du même avis.

Silva et Pescarolo, dans la maladie de Basedow, trouvent aussi une résistance initiale peu différente de la résistance finale, mais cette dernière ne diffère pas beaucoup de celle des autres individus, chez qui les fonctions de la peau se font d'une manière active. L'anomalie de résistance viendrait de ce que la transpiration, la vie plus active des tissus cutanés, provoquent une desquamation plus rapide, une moindre kératinisation, une jeunesse plus grande des cellules épidermiques, et tendent à donner à l'épiderme les propriétés d'une muqueuse.

Telles sont les modifications de la résistance dans les névroses; on a peu étudié encore ce qu'elle devient dans les fièvres telluriques et éruptives : nous ne connaissons que le travail de Silva

et Pescarolo. Ces auteurs attribuent à l'élévation de température une action opposée à celle qu'on lui accorde généralement : si l'on assimile le corps humain à une masse liquide saline, à un électrolyte, comme le font Frey et Windscheid, on doit admettre que la chaleur diminue la résistance; Boll, Hermann, l'ont constaté sur des tissus séparés. Au contraire, Silva et Pescarolo disent que toute élévation de température du corps correspond à une augmentation de résistance, et ils ne donnent pas de raisons pour expliquer cette contradiction avec les résultats précédents. Les sudorifiques diminuent la résistance, même quand ils ne produisent pas de sueur, parce qu'ils agissent comme antipyriquès, tels que l'antipyrine, en abaissant la température. Ce serait le même résultat avec le bain ordinaire, avec la quinine.

Dans la *malaria*, il y a, pendant les accès fébriles, augmentation de la résistance par suite de l'élévation de température; pendant la période de sueurs, diminution. Mais comme la fièvre revient par accès, pendant les longues périodes où les fonctions du corps reprennent leur activité normale, la dilatation du réseau vasculaire et la transpiration qui l'accompagne placent la peau dans les conditions favorables au passage du courant, comme nous l'avons vu plus haut : ainsi se produit une diminution de résistance, qui peut même arriver à annuler l'effet de l'élévation de température pendant l'accès.

Mais dans les *fièvres continues*, il y a toujours élévation de résistance parce que la température reste haute et que l'épaisseur de la couche cornée de l'épiderme augmente; il en est ainsi dans l'*érysipèle*, la *rougeole*, la fièvre *scarlatine*, à la période d'éruption, bien qu'il y ait congestion intense des téguments.

C'est toujours d'après cette théorie que Silva et Pescarolo expliquent le même résultat dans la convalescence des maladies infectieuses, dans le diabète (par suite de nutrition défectueuse de la peau) chez les individus obèses par ralentissement des combustions. Nous trouverons au contraire une diminution de la

résistance chez les individus qui travaillent des muscles, qui ont une vie plus intense, se fatiguent, transpirent, etc.

Vigouroux avait émis l'idée que toute collection liquide dans l'organisme devait introduire des modifications dans la résistance électrique de la région correspondante: une valeur initiale rapprochée de la valeur finale, qui serait au-dessous de la moyenne.

Wolff a trouvé, dans la *pleurésie* avec épanchement, une augmentation de résistance du côté atteint. Silva et Pescarolo n'ont pas observé de résultats comparables entre eux en prenant la résistance chez le même individu plusi urs jours de suite.

Dans l'*ascite*, le phénomène serait très net ; la résistance est plus grande avant l'extraction du liquide épanché qu'après la paracentèse; voici l'explication qu'ils donnent : la peau, qui était tendue, se rétracte, de sorte que pour la même surface des électrodes il y a une bien plus grande quantité de peau après rétraction qu'avant, et comme la résistance varie en raison inverse de la surface de la peau, elle diminue. Mais on pourrait répondre que si la peau se rétracte, elle augmente d'épaisseur, et que la résistance doit augmenter. Il nous semble que cette explication ne tient pas assez compte de tous les facteurs. N'y aurait-il pas là un phénomène de moindre circulation par distension de la peau, une anémie superficielle, qui serait plus importante que la diminution d'épaisseur du tissu cutané? Nous sommes plutôt disposé à le croire, s'il y a réellement augmentation de résistance lorsqu'il y a formation du liquide ascitique.

Dans quelques cas de *trépanation*, ils ont reconnu que la résistance diminue beaucoup après l'opération, à cause de la calotte osseuse supprimée sous une électrode ; mais ils n'ont pas pu observer de variations de résistance dues aux différences de la quantité du contenu endocrânien, comme l'admet Eulenburg.

Le travail de ce dernier auteur, paru en 1887, a trait à la mesure de la résistance électrique à la tête et à sa valeur séméiolo-

gique. Il a exécuté un grand nombre de mesures, de manière à accumuler la plus grande quantité possible de résultats comparables.

Les deux électrodes dont il se servait étaient impolarisables, et il a reconnu qu'il est nécessaire qu'elles le soient si l'on veut trouver les vraies valeurs; l'anode (108 cm^2) était appliquée au front, et la cathode (72 cm^2) à la nuque. Il mesurait de 30 en 30 secondes les valeurs de l'intensité pour une force électromotrice constante de 11 volts, et pouvait ainsi calculer les résistances correspondantes; les nombres qu'il nous donne représentent exactement les valeurs de la résistance du corps, parce qu'il a retranché de la résistance totale toutes les résistances accessoires, pile, électrodes, etc. Eulenburg n'a cherché qu'un minimum relatif, parce qu'à la tête il y a danger si l'on emploie les forces électromotrices élevées : il put pourtant y arriver dans quelques cas de torpeur cérébrale, pour ainsi dire.

Il mesurait la résistance parallèlement et perpendiculairement à la suture sagittale : dans tous les cas, elle était plus grande mesurée perpendiculairement; probablement ceci était dû, en grande partie, aux cheveux qui étaient interposés sous les deux électrodes. Répétées souvent chez le même individu, les mesures dans un même sens donnèrent des nombres très concordants, puisqu'ils ne différaient que de 100 à 200 ohms au maximum. Chez des hommes sains, le minimum relatif à 11 volts de la tête à la nuque varia entre 1,200 et 1,600; les valeurs furent un peu plus élevées chez les femmes, les enfants; il semble qu'il en soit de même pour les vieillards, les individus atteints de décrépitude sénile, sans pourtant pouvoir l'affirmer.

Dans un nombre de cas exclusivement pathologiques, plus peut-être dans les nécroses fonctionnelles légères (céphalalgies, migraines, maladie de Basedow, chorée, hystérie et hystéro-épilepsie), que dans les cas de lésions cérébrales matérielles (sclérose, tumeurs), il y eut très souvent, d'une manière stable, des aug-

mentations du minimum relatif au-dessus de 2,000 et même 3,000 ohms; les neurasthéniques habituels, les ataxiques sans trouble de nutrition général donnèrent des résultats ne différant pas de la normale, tandis qu'un ataxique avec symptômes de dépression profonde fournit un haut minimum : nous donnons ici les valeurs extrêmes.

Neurasthénies 1,220-1,620 ; ataxie locomotrice sans troubles profonds 1,400-1,580 ; avec troubles 2,960 ; sclérose disséminée 2,000-2,620; paralysie infantile 2,650; trois hystéries avec forte cachexie 2,250-3,240; maladie de Basedow 2,960; mélancolie 2,100-3,400.

Toutes les fois qu'il y avait anémie, ralentissement de nutrition, épuisements nerveux, les résultats furent surprenants : non seulement les valeurs des minima étaient très élevées, mais on pouvait même voir et suivre des variations dans la séance d'électrisation, probablement en rapport avec le contenu sanguin des couches superficielles, peut-être profondes aussi. Au contraire, dans les cas d'hyperémie manifeste, les valeurs furent au-dessus de la normale. On put enfin constater des différences entre les minima relatifs, mesurés au même instant, aux deux côtés de la tête.

Il serait très intéressant de connaître les causes de ces variations, soit au point de vue de l'électrophysiologie, soit au point de vue de l'électrodiagnostic.

Eulenburg pense que le contenu endo-crânien a une très grande influence sur la résistance à la tête : il donne à cette partie de la résistance totale le nom de résistance endo-crânienne. Or, cette résistance endo-crânienne dépend de bien des facteurs, qui varient quantitativement et qualitativement. Il faudrait d'abord connaître la conductibilité des divers conducteurs endo-crâniens : substance cérébrale, sang, liquide céphalo-rachidien, etc. Or, nous ne possédons que des données des plus incomplètes sur les résistances spécifiques des tissus et des liquides de l'organisme.

Ainsi Ziemssen prétend que la substance cérébrale est la plus conductrice des tissus ; d'Arsonval admet qu'elle est isolante.

Eulenburg cherche l'influence du remplacement du liquide céphalo-rachidien par le sang pendant l'expiration. Il a mesuré par le courant continu (il aurait mieux valu le faire avec des courants alternatifs) le pouvoir conducteur du sang et du liquide céphalo-rachidien ; la résistance du sang (à cause des globules et de la fibrine) est double de celle du liquide céphalo-rachidien; elle augmente avec le froid, résultat auquel on pouvait s'attendre. D'après les chiffres qu'il donne, nous pouvons admettre : pour le sang, une résistance spécifique de 72,8 ohm-centimètres, et pour le liquide cérébro-spinal 29,6. Mais il n'a pu en déduire aucune conclusion au point de vue des variations de la résistance endo-crânienne : il y a trop de facteurs inconnus.

La mesure de la résistance électrique permet d'apprécier un certain nombre de phénomènes physiologiques ; à ce titre elle peut donc être un moyen de diagnostic dans les cas pathologiques. Déjà il est des résultats certains, comme dans la maladie de Basedow et l'hystérie ; si dans ces affections il y a accord entre la plupart des observateurs, c'est que les troubles physiologiques dont dépendent les variations de la résistance sont si accusés que les modifications de cette résistance sont très nettes. Mais il n'en est plus de même dans les états pathologiques moins accentués. On a vu combien les causes des variations de la conductibilité du corps humain sont mal connues, au point de vue de l'intensité des effets qu'elles produisent ; comme la mesure de la résistance électrique aura une valeur séméiologique d'autant plus grande que les actions du courant et les autres causes qui modifient la conductibilité seront mieux déterminées, et comme nous ne savons jusqu'à quel degré d'exactitude nous pourrons pousser ces connaissances, il nous semble impossible de dire, dès à présent, quelle sera la limite de cette valeur.

Après analyse de tous ces travaux, il nous est difficile de tirer

des conclusions: presque à chaque résultat obtenu s'oppose un fait contradictoire ; chaque auteur apporte à l'appui de sa théorie des expériences qui la soutiennent sans renverser les autres. La question de la résistance du corps humain demande donc de nouvelles études, mais il sera nécessaire de leur donner la plus grande rigueur scientifique, si l'on ne veut pas piétiner sur place. Nous espérons que notre travail aura fait comprendre la direction à donner à ces expériences.

BIBLIOGRAPHIE

Boll. — Ueber den Einflus der Temperatur auf den Leitungswiderstand und die Polarisation thierischer Theile. Dissert. Kœnigsberg, 1887.

Boccolari et Borsari. — Della resistenza elettrica della paralysi progressiva degli alienati et nella épilessifrenia, ricerche sperimentali. Revista sperimentale, xv, 1889.

Cardew. — The Value of diminished electrical resistance of the body as a symptom in Groves'disease. The Lancet, 1891.

Charcot. — Leçon sur la maladie de Basedow. Gazette des Hôpitaux, 1885, pag. 98.

Dubois. — Revue internationale d'Électricité. Paris, 1887.

Eulenburg. — Ueber Messung galvanischer Leitungswiderstände am Kopfe und deren semiotische Verwerthung. Zeitsch. für Klin. Med., 1887, pag. 342.

— Ueber das Verhalten des g. Leitungswiderstand bei Basedow'scher Krankheit. Centralblatt für Nerwenheilkunde, 1887.

Estorc. — De l'Électro-diagnostic. Thèse de Montpellier, 1883.

Frey et Windscheid. — Der faradische Leitungswiderstand des menschlichen Körpers. Neurologisches Centralblatt, 1891, pag. 292.

Gaertner. — Ueber den electrischen Widerstand des menschlichen Körpers gegenüber Introductionströme. Wien. med. Jahrb., 1889.

— Untersuchungen über das electrische Leitungsvermögen der menschlichen Haut. Wien. med Jahrb., 1882.

Hermann. — Ueber den Längs- und Querwiderstand der Muskeln. Arch. für die Ges. Physiologie, XXIX.

— Untersuchungen über die Polarisation der Muskeln und der Nerven. Arch. für die Ges. Physiologie, XLII.

Jolly. — Untersuchungen über den electrischen Leitungswiderstand des menschlichen Körpers. Festschrift. Strassburg, 1884.

KAHLER.— Ueber den Leitungswiderstand der Haut bei Morbus Basedowii. Zeitschrift für Heilkunde, IX, 1888.

LAWRENCE ET HARRIES. — Lumière électrique, pag. 211. 1890.

MANN. — Ueber den Leitungswiderstand bei Untersuchungen der faradischen Erregbarkeit. Deutsch. Arch. für Klin. Med. XLV.

MARTIUS. — Ueber die Veränderungen des Leitungswiderstand des menschlichen Haut durch den constanten Strom. Archiv. für Psch. und Nervenkrank, XVII 1888.

— Unter welchen Bedingungen sind die bei verschiedenen Individuen gemessen Körperwiderstände untereinander Vergleichbar.. ..beim Morbus Basedowii. Archiv. für Pschy, XVIII, 1889.

MUNK. — Ueber die galvanische Eindführung differenter Flüssigkeiten in den unversehrten lebenden Organismus. Arch. für Anat. und Physiologie, 1873.

STINTZING ET GRAEBER. — Der Elektrophysiologische Leitungswiderstand des menschlichen Körpers und seine Bedeutung für die Elektrodiagnostik. Deutsch. Archiv. Klin. Med. XL.

SILVA ET PESCAROLO. — Della resistenza eletrico del corpo umano in condizioni normali e patologische. Rivista sperimentale, XV, 1889.

SWINBURNE. — Lumière électrique, pag. 211, 1890.

TISCHKOW. — Ueber den elektrischen Leitungswiderstand. Diss. Saint-Pétersbourg. Neurologisches Centralblatt, 1886.

VIGOUROUX. — Gazette médicale, 1879. — Progrès médical, 1888.

WATTEVILLE (DE). — Ueber den elektrischen Leitungswiderstand des menschlichen Körpers. Neurol. Centralblatt, 1886.

TSCHIRIEW ET DE WATTEVILLE. — On the electrical excitation of the Skin. Brain, 1879.

Vu et permis d'imprimer :
Montpellier, le 10 mars 1892.
Pour le Recteur de l'Académie,
L'Inspecteur d'Académie délégué,
J. YON.

Vu et approuvé :
Montpellier, le 10 mars 1892.
Pour le Doyen, le Professeur-Assesseur,
CARRIEU

SERMENT.

En présence des Maîtres de cette École, de mes chers Condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être Suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses !

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque !

Planche I

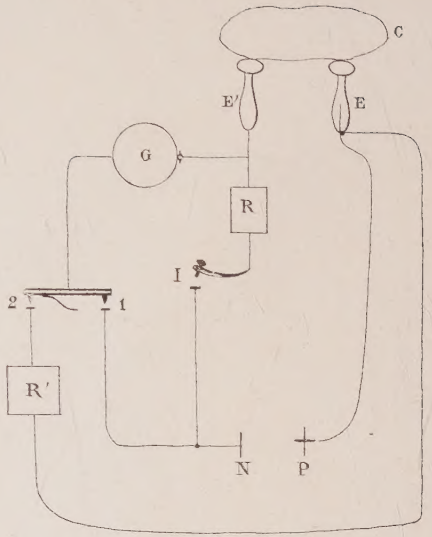


Fig. 1

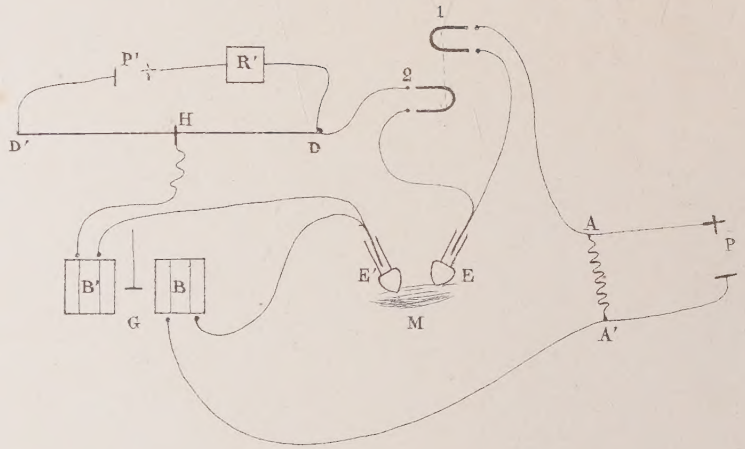
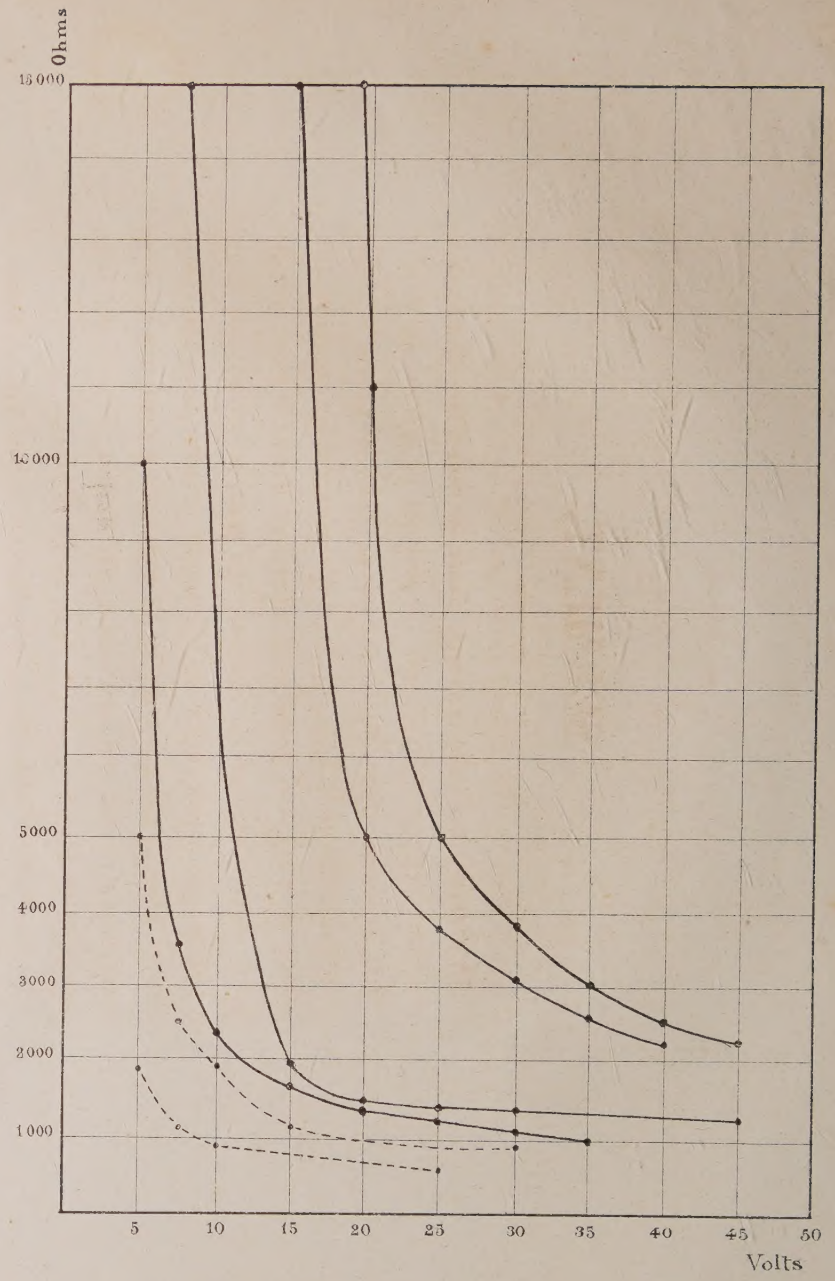


Fig. 2

Planche II.



Courbes des minima relatifs

Etat normal ———————

Etat pathologique *(Maladie de Basedow)* - - - - - - - - -